Pedro C. Silva Telles

TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Materiais, Projeto, Montagem

LTC

10ª edição

TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

MATERIAIS, PROJETO, MONTAGEM

Sumário

1. Tubulações Industriais: Generalidades, Classificação, 1

1.1 Tubos e Tubulações, 1
1.2 Classificação das Tubulações Industriais Quanto ao Emprego, 2
1.3 Classificação das Tubulações Industriais Quanto ao Fluido Conduzido, 3

2. Tubos: Materiais, Processos de Fabricação, Normalização Dimensional, 4

2.1 Principais Materiais para Tubos, 4
2.2 Processos de Fabricação de Tubos, 5
2.3 Fabricação de Tubos por Laminação, 5
2.4 Processos de Extrusão e de Fundição, 6
2.5 Fabricação de Tubos com Costura, 6
2.6 Tubos de Aço-Carbono, 9
2.7 Especificações de Material para Tubos de Aço-Carbono, 10
2.8 Aços-Liga e Aços Inoxidáveis — Casos Gerais de Emprego, 11
2.9 Tubos de Aços-Liga, 12
2.10 Tubos de Aços Inoxidáveis, 12
2.11 Diâmetros Comerciais dos "Tubos para Condução" de Aço, 13
2.12 Espessuras de Parede dos "Tubos para Condução" de Aço, 14
2.13 Dados para Encomenda ou Requisição de Tubos, 15
2.14 Tubos de Aços Fabricados no Brasil, 15
2.15 Tubos de Ferro Fundido e de Ferro Forjado, 15
2.16 Tubos de Metais Não-Ferrosos, 16
2.17 Diâmetros e Espessuras dos Tubos Não-Ferrosos, 17
2.18 Tubos Não-Metálicos, 17
2.19 Tubos de Materiais Plásticos, 18
2.20 Principais Materiais Plásticos para Tubulações, 19
2.21 Tubos de Aço com Revestimentos Internos, 20

3. Meios de Ligação de Tubos, 22

3.1 Meios de Ligação de Tubos, 22
3.2 Ligações Rosqueadas, 22
3.3 Ligações Soldadas, 23
3.4 Solda de Topo e Solda de Encaixe, 24
3.5 Ligações Flangeadas, 25
3.6 Tipos de Flanges para Tubos, 25
3.7 Faceamento dos Flanges, 27

3.8 Fabricação, Materiais e Normalização de Flanges de Aço — Classes de Pressão Nominal, 28
3.9 Flanges de Outros Materiais, 30
3.10 Juntas para Flanges, 31
3.11 Parafusos e Estojos para Flanges, 32
3.12 Ligações de Ponta e Bolsa, 33
3.13 Outros Meios de Ligação de Tubos, 34
3.14 Sistemas de Ligação para Tubulações de Aço, 37

4. Válvulas, 38

4.1 Definição, 38
4.2 Classificação das Válvulas, 38
4.3 Construção das Válvulas, 39
4.4 Meios de Operação das Válvulas, 41
4.5 Válvulas de Gaveta, 43
4.6 Válvulas de Macho, 45
4.7 Válvulas de Globo, 46
4.8 Válvulas de Retenção, 48
4.9 Válvulas de Segurança e de Alívio, 50
4.10 Válvulas de Controle, 51
4.11 Outros Tipos Importantes de Válvulas, 52
4.12 Materiais de Construção e Condições de Trabalho das Válvulas, 53
4.13 Seleção de Válvulas, 54
4.14 Principais Linhas de Fabricação de Válvulas, 58
4.15 Dados para Encomenda ou Requisição de Válvulas, 58
4.16 Principais Normas sobre Válvulas, 59

5. Conexões de Tubulação, 61

5.1 Classificação das Conexões de Tubulação, 61
5.2 Conexões para Solda de Topo, 61
5.3 Conexões para Solda de Encaixe, 62
5.4 Conexões Rosqueadas, 63
5.5 Conexões Flangeadas, 64
5.6 Conexões de Ligação — Niples, 65
5.7 Outros Tipos de Conexões de Tubulação, 65
5.8 Curvas em Gomos e Derivações Soldadas, 66
5.9 Outros Acessórios de Tubulação, 69

6. Juntas de Expansão, 72

6.1 Juntas de Expansão, 72
6.2 Movimentos das Juntas de Expansão, 74
6.3 Juntas de Telescópio, 74
6.4 Juntas de Fole, 75
6.5 Tipos de Juntas de Expansão de Fole, 76
6.6 Juntas de Expansão de Tecido, 77

7. Purgadores de Vapor, Separadores Diversos e Filtros, 78

7.1 Definição e Finalidades dos Purgadores de Vapor, 78
7.2 Casos Típicos de Emprego e Locais de Instalação de Purgadores, 79
7.3 Detalhes de Instalação dos Purgadores de Vapor, 81
7.4 Principais Tipos de Purgadores de Vapor, 81
7.5 Seleção e Dimensionamento dos Purgadores de Vapor, 84

7.6 Cálculo da Quantidade de Condensado a Eliminar, 86
7.7 Outros Dispositivos Separadores, 88
7.8 Filtros para Tubulações, 89
7.9 Filtros Provisórios e Permanentes, 90

8. Recomendações de Materiais para Alguns Serviços — Especificações de Material de Tubulação, 92

8.1 Problema Geral da Seleção dos Materiais, 92
8.2 Tubulações para Água Doce, 94
8.3 Tubulações para Águas Agressivas, 95
8.4 Tubulações para Vapor, 95
8.5 Tubulações para Hidrocarbonetos, 97
8.6 Tubulações para Ar Comprimido, 98
8.7 Tubulações para Temperaturas Elevadas, 98
8.8 Tubulações para Baixas Temperaturas, 99
8.9 Tubulações para Gases, 100
8.10 Tubulações para Hidrogênio, 100
8.11 Tubulações para Ácidos e para Álcalis, 100
8.12 Tubulações para Esgotos e para Drenagem, 101
8.13 Especificações de Material de Tubulação, 102
8.14 Exemplos de Especificações de Material de Tubulação, 103

9. Disposição das Construções em uma Instalação Industrial, 107

9.1 A Disposição Geral das Construções em Relação ao Projeto de Tubulações, 107
9.2 Disposição Geral das Áreas e Construções no Terreno, 108
9.3 Disposição Dentro das Áreas de Processo, 112
9.4 Plantas de Arranjo, 118

10. Arranjo e Detalhamento de Tubulações, 120

10.1 Considerações Básicas, 120
10.2 Regras Gerais para o Arranjo de Tubulações Não-Subterrâneas, 120
10.3 Vãos entre Suportes de Tubulação, 123
10.4 Tubulações em Áreas de Processo e Tubulações Externas, 125
10.5 Arranjo de Tubulações em Áreas de Processo, 127
10.6 Arranjo de Tubulações Externas, 128
10.7 Facilidades para Montagem, Operação e Manutenção, 130
10.8 Fixação de Cotas de Elevação de Tubulações e de Equipamentos, 132
10.9 Detalhes de Tubulação, 134
10.10 Tubulações Subterrâneas, 139
10.11 Tubulações de Esgotos, 140

11. Suportes de Tubulação, 143

11.1 Definição e Classificação dos Suportes de Tubulação, 143
11.2 Cargas que Atuam sobre os Suportes, 143
11.3 Suportes Fixos, 144
11.4 Contato entre os Tubos e os Suportes, 146
11.5 Suportes Semimóveis, Suportes para Tubulações Verticais, 149
11.6 Suportes Especiais para Tubulações Leves, 149
11.7 Suportes Móveis, 149
11.8 Suportes de Mola, 152
11.9 Suportes de Contrapeso, 154

11.10 Suportes que Limitam os Movimentos das Tubulações, 154
11.11 Finalidades dos Suportes que Limitam os Movimentos das Tubulações, 155
11.12 Exemplos de Emprego e Localização dos Dispositivos de Limitação de Movimentos, 156
11.13 Suportes para Tubulações Sujeitas a Vibrações, 158
11.14 Estudo Global do Conjunto de Suportes, 159
11.15 Projeto e Construção dos Suportes de Tubulação, 159

12. Sistemas Especiais de Tubulação, 162

12.1 Sistemas Especiais de Tubulação, 162
12.2 Tubulações para Bombas, 162
12.3 Tubulações para um Grupo de Bombas, 164
12.4 Tubulações para Tanques, Vasos e Outros Reservatórios, 164
12.5 Tubulações em Áreas de Armazenagem de Líquidos Combustíveis ou Inflamáveis, 166
12.6 Outros Sistemas Especiais, 168

13. Desenhos de Tubulações, 169

13.1 Tipos de Desenhos de Tubulações, 169
13.2 Identificação de Tubulações, Vasos, Equipamentos e Instrumentos, 169
13.3 Fluxogramas, 170
13.4 Plantas de Tubulação, 174
13.5 Plantas de Tubulação Fora de Áreas de Processo, 180
13.6 Rotina para o Desenho das Plantas de Tubulação, 181
13.7 Desenhos Isométricos, 182
13.8 Outros Desenhos de Tubulação, 188
13.9 Lista de Linhas e Outros Documentos, 190
13.10 Observações sobre Prática de Desenhos, 192

14. Projeto de Tubulações, 194

14.1 Projeto de Tubulações, 194
14.2 Documentos de que se Compõe um Projeto de Tubulações, 195
14.3 Especificações Gerais de Tubulação, 196
14.4 A Informática e o Projeto de Tubulações, 197
14.5 Interdependência entre o Projeto de Tubulações e os Outros Projetos, 199
14.6 Informações que Devem Ser Recebidas de Outros Projetos, 199
14.7 Informações que Devem Ser Fornecidas aos Outros Projetos, 200
14.8 Informações Adicionais Necessárias ao Projeto de Tubulações, 201
14.9 Seqüência de Serviços em um Projeto de Tubulações, 202

15. Montagem e Testes de Tubulações, 204

15.1 Pré-Montagem de Peças de Tubulação, 204
15.2 Recomendações para a Pré-Montagem de Peças de Tubulação, 205
15.3 Soldas, 208
15.4 Exames Não-Destrutivos das Soldas, 210
15.5 Tratamentos Térmicos, 212
15.6 Preparação para a Montagem de Tubulações, 214
15.7 Montagem de Tubulações, 215
15.8 Limpeza das Tubulações, 217
15.9 Casos Especiais de Montagem de Tubulações, 217
15.10 Ajustagem de Suportes Fixos e de Suportes de Molas, 218
15.11 Construção de Tubulações Subterrâneas, 219

15.12 Testes de Pressão em Tubulações e em Válvulas, 220
15.13 Preparação e Execução de Testes de Pressão em Tubulações, 221
15.14 Estimativa de Serviços de Tubulação, 222

16. Aquecimento, Isolamento Térmico, Pintura e Proteção, 224

16.1 Finalidades do Aquecimento das Tubulações, 224
16.2 Sistemas Usados para o Aquecimento, 225
16.3 Aquecimento por Meio de Tubos Externos Paralelos, 226
16.4 Aquecimento Elétrico, 229
16.5 Finalidades e Empregos dos Isolamentos Térmicos, 230
16.6 Sistemas de Colocação dos Isolamentos Térmicos, 231
16.7 Materiais Usados para o Isolamento Térmico Externo, 231
16.8 Espessuras dos Isolamentos Térmicos, 231
16.9 Cálculo da Espessura do Isolamento Térmico, 234
16.10 Aplicação do Isolamento Térmico Externo, 234
16.11 Pintura das Tubulações Industriais, 236
16.12 Preparação das Superfícies para a Pintura, 236
16.13 Tintas e Sistemas de Aplicação, 237
16.14 Proteção de Tubulações Enterradas e Submersas, 239
16.15 Proteção Catódica, 240

17. Normas, Códigos e Especificações, 241

17.1 Principais Normas e Códigos sobre Tubulações, 241
17.2 "American National Standard Code for Pressure Piping" — ASME.B.31, 242
17.3 "Process Piping" — ASME.B.31.3, 243
17.4 Normas e Especificações da ABNT, do ANSI e da ASTM, 243
17.5 Principais Normas Técnicas da PETROBRÁS sobre Tubulações, 245

Bibliografia, 246

Índice, 249

1

TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS: GENERALIDADES, CLASSIFICAÇÃO

1.1 TUBOS e TUBULAÇÕES

Tubos são condutos fechados, destinados principalmente ao transporte de fluidos. Todos os tubos são de seção circular, apresentando-se como cilindros ocos. A grande maioria dos tubos funciona como condutos forçados, isto é, sem superfície livre, com o fluido tomando toda a área da seção transversal. Fazem exceção apenas as tubulações de esgoto, e às vezes as de água, que trabalham com superfície livre, como canais.

Chama-se de "tubulação" um conjunto de tubos e de seus diversos acessórios.

A necessidade da existência das tubulações decorre principalmente do fato de o ponto de geração ou de armazenagem dos fluidos estar, em geral, distante do seu ponto de utilização.

Usam-se tubulações para o transporte de todos os materiais capazes de escoar, isto é, todos os fluidos conhecidos, líquidos ou gasosos, assim como materiais pastosos e fluidos com sólidos em suspensão, todos em toda a faixa de variação de pressões e temperaturas usuais na indústria: desde o vácuo absoluto até cerca de 1000 MPa (≅ 100 kg/mm^2), e desde próximo do zero absoluto até as temperaturas de metais em fusão.

O emprego de tubulações pelo homem antecede provavelmente a história escrita. Foram descobertos vestígios ou redes completas de tubulações nas ruínas da Babilônia, da China antiga, de Pompéia e em muitas outras. Os primeiros tubos metálicos foram feitos de chumbo, séculos antes da Era Cristã, havendo instalações completas com esse material nas termas de Roma Antiga, com tubulações inclusive para água quente. A primeira produção de tubos de ferro fundido começou na Europa Central, por volta do século XV, existindo algumas instalações antigas desse tipo, para água, ainda em funcionamento, como, por exemplo, as instalações para as fontes dos jardins do Palácio de Versalhes, na França. Os tubos de aço, que hoje dominam largamente quase todos os campos de aplicação industrial, são de desenvolvimento relativamente recente, datando de 1825 o primeiro tubo de aço, fabricado na Inglaterra. Só em 1886, com a primeira patente dos irmãos Mannesmann, do "laminador oblíquo", foi possível produzir economicamente tubos de aço sem costura. Por essa época os tubos de aço eram necessários principalmente para resistir às pressões cada vez mais altas das tubulações de vapor.

A importância das tubulações na indústria é enorme; todas as indústrias têm redes de tubulações de maior ou menor importância, e quase todas essas redes são essenciais ao funcionamento da indústria. A importância é ainda maior nas chamadas indústrias de processo(*), nas quais as tubulações são os elementos físicos de ligação entre os equipamentos (vasos de pressão, reatores, tanques, bombas, trocadores de calor etc.), por onde circulam os fluidos de processo e de utilidades. Nessas indústrias, o valor das tubulações representa, em média, 20 a 25% do custo total da instalação industrial, a montagem das tubulações atinge, em média, 45 a 50% do custo total da montagem de todos os equipamentos, e o projeto das tubulações vale, em média, 20% do custo total do projeto da indústria.

(*) "Indústria de processo" é um nome genérico para designar as indústrias em que materiais fluidos sofrem transformações físicas e/ou químicas, ou as que se dedicam à armazenagem, manuseio ou distribuição de fluidos. Dentre essas indústrias citam-se, por exemplo, a indústria do petróleo, as indústrias químicas e petroquímicas, muitas indústrias alimentares e farmacêuticas, a parte térmica das centrais termoelétricas, os terminais de armazenagem e de distribuição de produtos de petróleo, bem como as instalações de processamento de petróleo e/ou de gás natural, em terra e no mar.

Na prática, chamam-se geralmente de tubos (ou vulgarmente de "canos") apenas os condutos rígidos. Os condutos flexíveis, embora às vezes chamados de "tubos flexíveis", são mais comumente denominados de mangueiras ou mangotes.

Na nomenclatura americana os tubos são chamados de "pipe" ou de "tube". Entre esses dois termos não há uma distinção muito rígida. De um modo geral o termo "pipe" é usado para os tubos cuja função é propriamente de conduzir fluidos, enquanto que o termo "tube" emprega-se para os tubos destinados primordialmente a outras funções, tais como trocar calor (tubos de feixes tubulares e serpentinas de caldeiras, fornos, trocadores de calor etc.), transmitir pressão, conduzir sinais (tubos de instrumentação), funcionar como vigas ou como elementos estruturais etc.

A "Comisión Pan-Americana de Normas Tecnicas" (COPANT) recomenda que se chame de "tubos para condução" os tubos destinados ao transporte de fluidos, e que se chame simplesmente de "tubos" os que se destinam primordialmente a qualquer outra finalidade. Embora essa nomenclatura recomendada não seja de uso corrente aqui no Brasil, deve ser feito esforço para introduzi-la entre todos que lidam com tais materiais. Trataremos aqui nesse livro apenas dos tubos para condução, que são os principais componentes das redes de tubulação.

1.2 Classificação das Tubulações Industriais Quanto ao Emprego

Existe uma imensa variedade de casos de emprego de tubulações na indústria. Sem pretender dar uma classificação que abranja todos os casos, podemos classificar as tubulações industriais nas seguintes classes principais de emprego:

- Tubulações Industriais
  - Tubulações dentro de instalações industriais
    - Tubulações de processo
    - Tubulações de utilidades
    - Tubulações de instrumentação
    - Tubulações de transmissão hidráulica
    - Tubulações de drenagem
  - Tubulações fora de instalações industriais
    - Tubulações de transporte
      - adução
      - transporte
      - drenagem
    - Tubulações de distribuição
      - distribuição
      - coleta

Chamam-se tubulações de processo às tubulações do fluido ou dos fluidos que constituem a finalidade básica da indústria, nas indústrias cuja atividade principal é o processamento, a armazenagem ou a distribuição de fluidos. Tais são, por exemplo, as tubulações de óleos em refinarias, terminais e instalações de armazenagem ou distribuição de produtos de petróleo, tubulações de vapor em centrais termelétricas, tubulações de produtos químicos em indústrias químicas etc.

As tubulações de utilidades são as tubulações de fluidos auxiliares nas indústrias cuja atividade principal é o processamento, a armazenagem ou a distribuição de fluidos, e também as tubulações em geral em todas as indústrias que se dedicam a outras atividades. As tubulações de utilidades podem servir não só ao funcionamento da indústria propriamente dita (sistemas de refrigeração, aquecimento, vapor para acionamento de máquinas etc.), como também a outras finalidades normais ou eventuais, tais como: manutenção, limpeza, combate a incêndio etc. Costumam constituir tubulações de utilidades as redes de água doce, água salgada, vapor, condensado e ar comprimido, nas indústrias em geral.

Tubulações de instrumentação são as tubulações para a transmissão de sinais de ar comprimido para as válvulas de controle e instrumentos automáticos, e também as pequenas tubulações, de fluidos diversos, para os instrumentos automáticos. As tubulações de instrumentação não são destinadas ao transporte de fluidos.

As tubulações de transmissão hidráulica, que também não se destinam ao transporte de fluidos, são as tubulações de líquidos sob pressão para os comandos e servomecanismos hidráulicos.

Deve ser observado que, em qualquer caso, os tubos que fazem parte integrante de equipamentos e máquinas (caldeiras, fornos, trocadores de calor, motores etc.), não são considerados como pertencentes às redes de tubulação.

As tubulações de drenagem são as redes encarregadas de coletar e conduzir ao destino conveniente os diversos efluentes fluidos de uma instalação industrial. Preferimos, nessa classificação, não incluí-las como tubulações de utilidades, por causa da característica peculiar a quase todas as tubulações de drenagem de trabalharem sem pressão e com fluidos muito variados e freqüentemente mal definidos.

Para quaisquer classes de tubulações dentro dos limites de uma instalação industrial devemos distinguir sempre dois casos gerais, como veremos no Cap. 10:

— Tubulações no interior das áreas de trabalho ou de processamento de fluidos (tubulações em unidades de processo).
— Tubulações externas, isto é, as linhas fora das áreas de processo, que são as tubulações em áreas de armazenagem de fluidos, tubulações de interligação entre áreas de processo e de armazenagem etc.

A distinção entre essas duas classes de tubulações é importante porque, como será visto no Cap. 10, em muitos

casos, para o mesmo serviço, são completamente diferentes os critérios de traçado e arranjo das tubulações, sistemas de suportes etc.

As tubulações de transporte são os troncos empregados para o transporte de líquidos e de gases a longas distâncias fora de instalações industriais. Estão incluídas nesta classe as adutoras de água, as tubulações de transporte de óleos e de gases (oleodutos e gasodutos) e os coletores de drenagem. As tubulações de distribuição são as redes ramificadas fora de instalações industriais; podem ser de distribuição propriamente dita (de água, vapor etc.) quando o fluxo se dá em direção às extremidades dos ramais, e de coleta (de drenagem, esgotos etc.) quando o fluxo se dá em direção às linhas-tronco.

Não trataremos aqui especificamente das tubulações fora de instalações industriais.

1.3 Classificação das Tubulações Industriais Quanto ao Fluido Conduzido

Quanto ao fluido conduzido são os seguintes os casos mais importantes de emprego das tubulações industriais:

- *Tubulações para Água*
  - Água doce
    - Água potável
    - Água de alimentação de caldeiras
    - Água industrial
  - Água salgada e outras águas agressivas
  - Água de incêndio
  - Água de irrigação
- *Tubulações para Vapor*
  - Vapor superaquecido
  - Vapor saturado
  - Vapor exausto
  - Condensado
- *Tubulações para Óleos*
  - Petróleo cru
  - Produtos intermediários e finais do petróleo
  - Óleos vegetais
  - Óleos hidráulicos
- *Tubulações para Ar*
  - Ar comprimido industrial
  - Ar comprimido de instrumentação
- *Tubulações para Gases*
  - Gás de iluminação
  - Gás natural
  - Gases de petróleo, gases de síntese
  - Gases de alto-forno
  - CO_2, oxigênio, hidrogênio etc.
- *Tubulações para Esgotos e Drenagem*
  - Esgoto pluvial, lama de drenagem
  - Esgoto industrial
  - Esgoto sanitário
  - Gases residuais
  - Drenagem de emergência
- *Tubulações para Fluidos Diversos*
  - Produtos petroquímicos
  - Produtos alimentares
    - bebidas
    - xaropes
    - óleos e gorduras comestíveis etc.
  - Tintas, resinas, vernizes, solventes etc.
  - Misturas refrigerantes
  - Pasta de papel
  - Produtos químicos diversos
    - ácidos, álcalis, enxofre fundido
    - amônia, álcool
    - cloro, uréia, soda
    - sabões etc.

2

TUBOS: MATERIAIS, PROCESSOS DE FABRICAÇÃO, NORMALIZAÇÃO DIMENSIONAL

2.1 PRINCIPAIS MATERIAIS PARA TUBOS

É muito grande a variedade dos materiais atualmente utilizados para a fabricação de tubos. Só a ASTM (American Society for Testing and Materials) especifica mais de 500 tipos diferentes de materiais. Damos a seguir um resumo dos principais materiais usados:

- Tubos metálicos
  - Ferrosos
    - Aços-carbono (carbon-steel)
    - Aços-liga (low alloy, high alloy steel)
    - Aços inoxidáveis (stainless-steel)
    - Ferro fundido (cast iron)
    - Ferro forjado (wrought iron)
    - Ferros ligados (alloy cast iron)
    - Ferro nodular (nodular cast iron)
  - Não-ferrosos
    - Cobre (copper)
    - Latões (brass)
    - Cobre-níquel
    - Alumínio
    - Níquel e ligas
    - Metal Monel
    - Chumbo (lead)
    - Titânio, zircônio
- Tubos não metálicos
  - Materiais plásticos
    - Cloreto de polivinil (PVC)
    - Polietileno
    - Acrílicos
    - Acetato de celulose
    - Epóxi
    - Poliésteres
    - Fenólicos etc.
  - Cimento-amianto (transite)
  - Concreto armado
  - Barro vidrado (clay)
  - Elastômeros (borrachas)
  - Vidro
  - Cerâmica, porcelana etc.
- Tubos de aço com revestimento interno de
  - Zinco
  - Aços inoxidáveis
  - Materiais plásticos
  - Elastômeros (borrachas), ebonite
  - Asfalto, esmaltes asfálticos
  - Concretos
  - Vidro, porcelana

Veremos adiante, com mais detalhes, os tubos dos materiais de maior importância industrial. Chama-se a atenção que os diversos títulos da classificação acima (aços-

carbono, aços-liga etc.), não representam um único material, mas sim uma família ou um grupo de materiais, tendo cada material, em alguns casos, propriedades específicas e bastante diferentes uns dos outros.

A seleção e especificação do material mais adequado para uma determinada aplicação pode ser um problema, difícil, cuja solução depende principalmente da pressão e temperatura de trabalho, do fluido conduzido (aspectos de corrosão e contaminação), do custo, do maior ou menor grau de segurança exigido, das sobrecargas externas que existirem, e também, em certos casos, da resistência ao escoamento do fluido (perdas de carga). Voltaremos mais adiante a todas essas questões.

No Cap. 8 deste livro estão alguns exemplos de recomendações de materiais de tubos para os serviços mais freqüentemente encontrados na prática industrial, juntamente com as recomendações dos meios de ligação de tubos e dos materiais para válvulas, conexões de tubulação etc.

É importante observar que todos os materiais, metálicos ou não, empregados em tubulações industriais devem ter suas propriedades perfeitamente conhecidas e garantidas e, por isso, só são usualmente admitidos os materiais que obedeçam a alguma Especificação de Material. Essa é, aliás, uma exigência geral de todas as normas de projeto de tubulações industriais (veja Itens 2.7, 2.9 e 2.10).

Especificações de Material são documentos normativos emitidos por sociedades de normalização reconhecidas, públicas ou particulares, ou por alguns fabricantes, contendo geralmente as seguintes informações e exigências: descrição e finalidade do material, composição química, propriedades mecânicas, ensaios e testes exigidos ou recomendados, condições de aceitação, rejeição e marcação do material; poderão ainda conter dados dimensionais, propriedades físicas e químicas, exigências suplementares opcionais etc. Cada Especificação de Material é designada por uma sigla numérica ou alfanumérica, que serve também como designação dos materiais por ela definidos. Chama-se atenção para o fato de a maioria das Especificações de Material abranger não apenas um único material, mas um grupo de materiais que se distinguem entre si por "classes" ou "graus" da especificação; por esse motivo, para especificar corretamente um material, não basta citar a sigla da especificação, mas também a classe ou grau do material, bem como as exigências opcionais que forem exigidas, quando for o caso.

2.2 Processos de Fabricação de Tubos

Há quatro grupos de processos industriais de fabricação de tubos:

Tubos sem costura (seamless pipe)		Laminação (rolling) Extrusão (extrusion) Fundição (casting)
Tubos com costura (welded pipe)	—	Fabricação por solda (welding).

Os processos de laminação e de fabricação por solda são os de maior importância, e por eles são feitos mais de 2/3 de todos os tubos usados em instalações industriais.

2.3 Fabricação de Tubos por Laminação

Os processos de laminação são os mais importantes para a fabricação de tubos de aço sem costura; empregam-se para a fabricação de tubos de aços-carbono, aços-liga e aços inoxidáveis, desde cerca de 80 até 650 mm de diâmetro.

Há vários processos de fabricação por laminação, o mais importante dos quais é o processo "Mannesmann", que consiste resumidamente nas seguintes operações:

1. Um lingote cilíndrico de aço, com o diâmetro externo aproximado do tubo que se vai fabricar, é aquecido a cerca de 1.200°C e levado ao denominado "laminador oblíquo".

2. O laminador oblíquo tem dois rolos de cone duplo, cujos eixos fazem entre si um pequeno ângulo (Fig. 2.1). O lingote é colocado entre os dois rolos, que o prensam fortemente, e lhe imprimem, ao mesmo tempo, um movimento helicoidal de rotação e translação. Em conseqüência do movimento de translação o lingote é pressionado contra uma ponteira cônica que se encontra entre os rolos. A ponteira abre um furo no centro do lingote, transformando-o em tubo, e alisa continuamente a superfície interna recém-formada. A ponteira, que é fixa, está colocada na extremidade de uma haste com um comprimento maior do que o tubo que resultará.

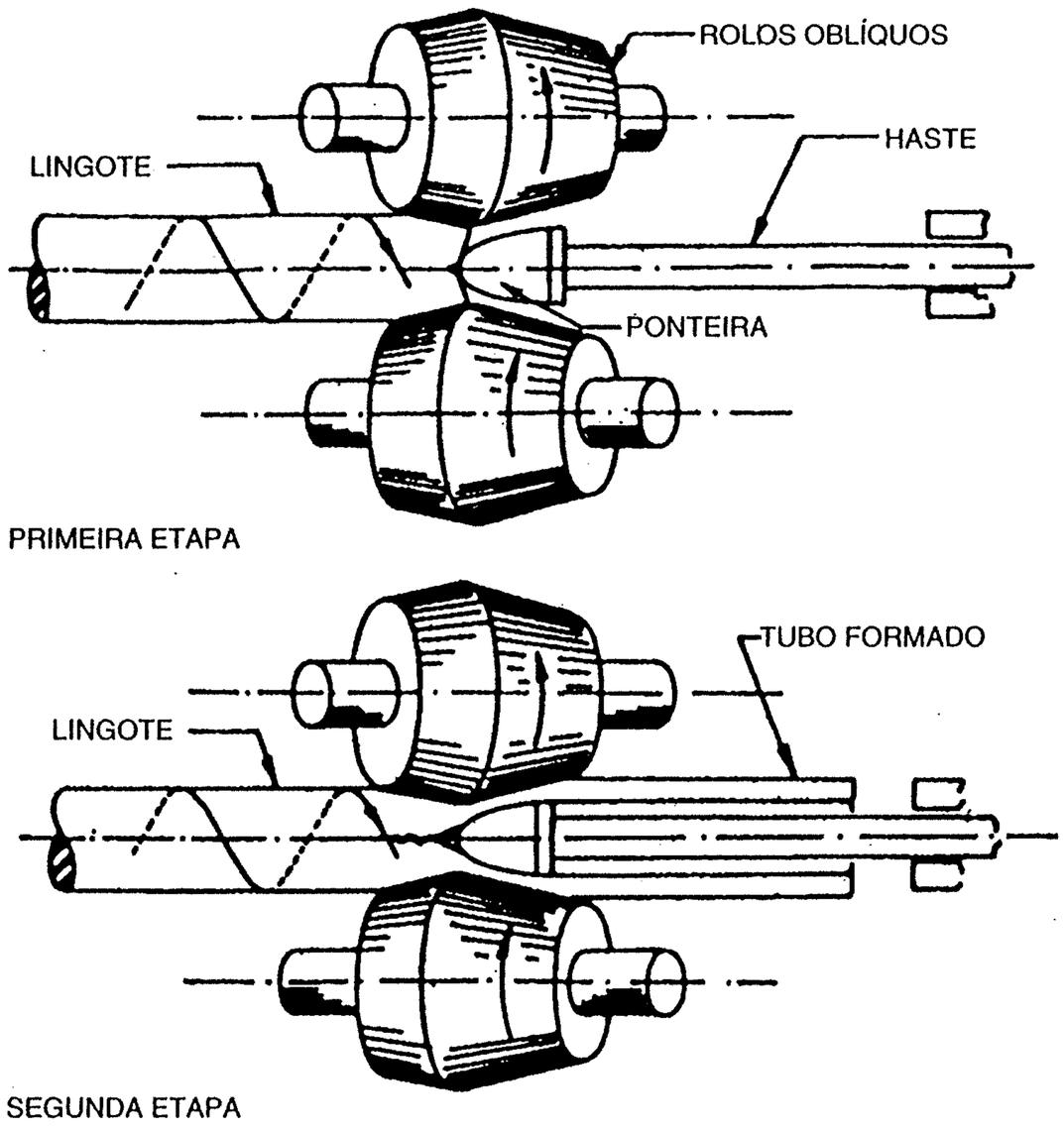


Fig. 2.1 Fabricação de tubos por laminação — Laminador oblíquo "Mannesmann". (*Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann.*)

3. O tubo formado nessa primeira operação tem paredes muito grossas. A ponteira é então retirada e o tubo, ainda quente, é levado para um segundo laminador oblíquo, com uma ponteira de diâmetro um pouco maior, que afina as paredes do tubo, aumentando o comprimento e ajustando o diâmetro externo.

4. Depois das duas passagens pelos laminadores oblíquos o tubo está bastante empenado. Passa então em uma ou duas máquinas desempenadoras de rolos.

5. O tubo sofre, finalmente, uma série de operações de calibragem dos diâmetros externo e interno, e alisamento das superfícies externa e interna. Essas operações são feitas em várias passagens em laminadores com mandris e em laminadores calibradores (Fig. 2.2).

2.4 Processos de Extrusão e de Fundição

1. *Extrusão* — Na fabricação por extrusão, um tarugo cilíndrico maciço do material, em estado pastoso, é colocado em um recipiente de aço debaixo de uma poderosa prensa. Em uma única operação, que dura no total poucos segundos, dão-se as seguintes fases (Fig. 2.3):

a) O êmbolo da prensa, cujo diâmetro é o mesmo do tarugo, encosta-se no tarugo. *b*) O mandril, acionado pela prensa, fura completamente o centro do tarugo. *c*) Em seguida, o êmbolo empurra o tarugo, obrigando o material a passar pelo furo de uma matriz calibrada e por fora do mandril, formando o tubo.

Para qualquer aço, essa operação se processa estando o tarugo a cerca de 1.200°C; as prensas são sempre verticais e o esforço da prensa pode chegar a 15 MN (≅ 1500

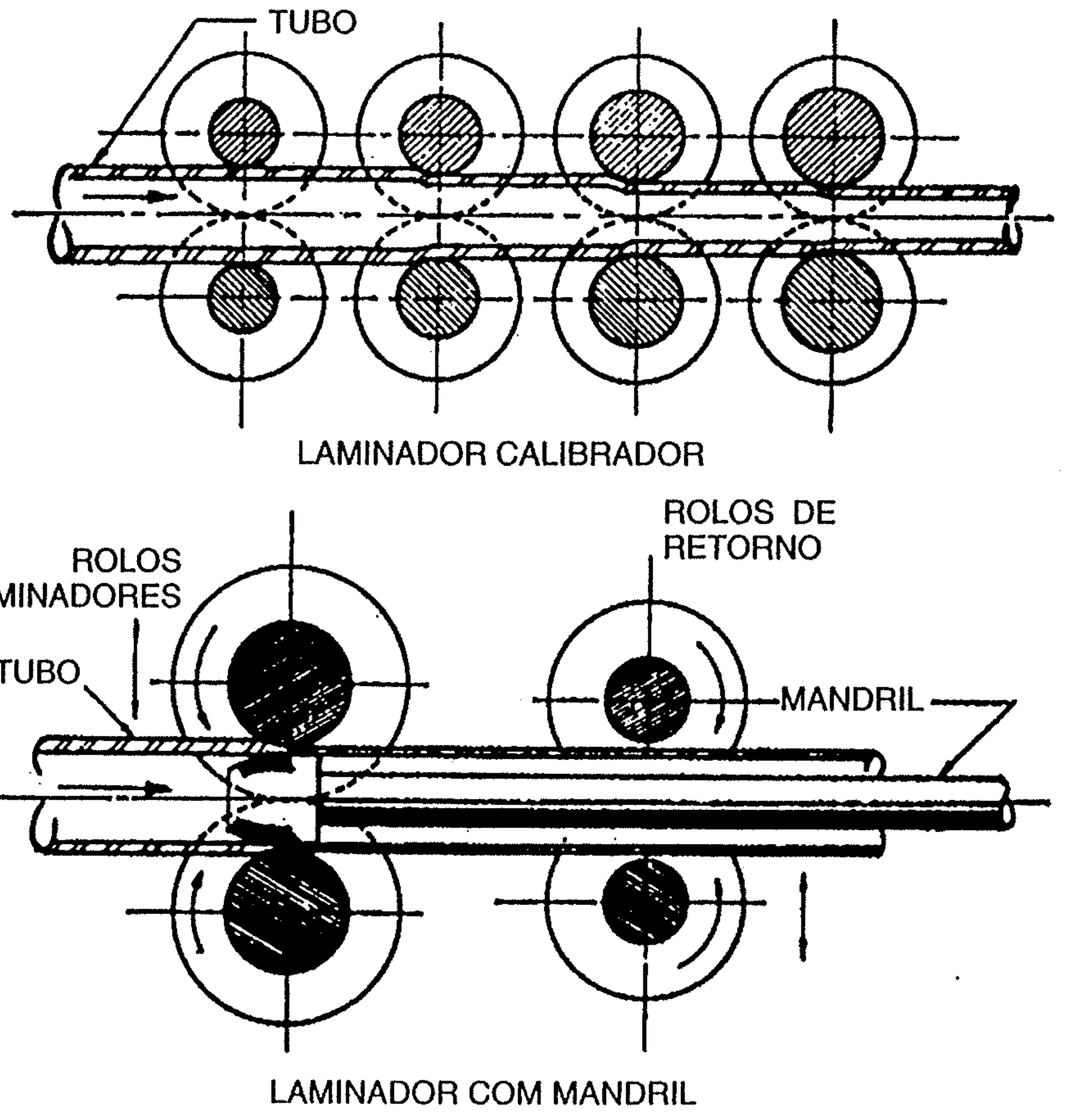


Fig. 2.2 Fabricação de tubos por laminação — Laminadores de acabamento. (*Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann.*)

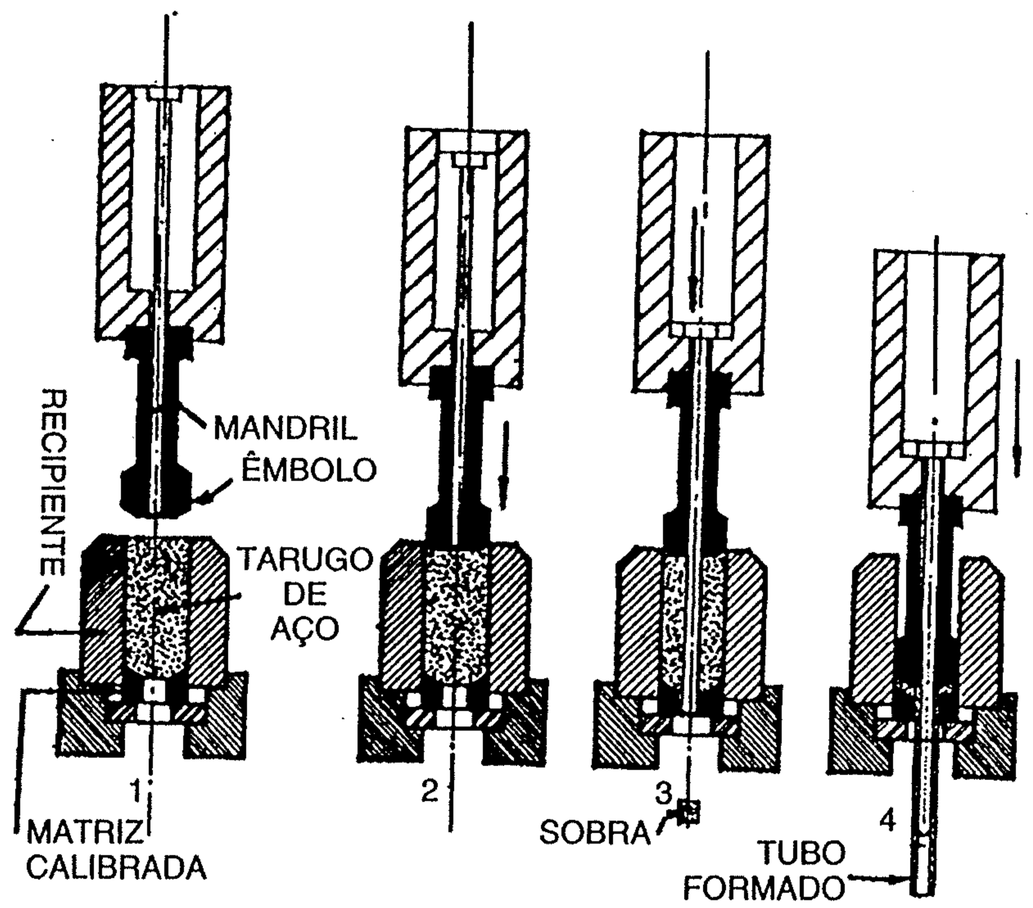


Fig. 2.3 Fabricação de tubos por extrusão. (*Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann.*)

t). Os tubos de aço saem dessa primeira operação curtos e grossos; são levados então, ainda quentes, a um laminador de rolos para redução do diâmetro. Vão finalmente para outros laminadores que desempenam e ajustam as medidas do diâmetro e da espessura das paredes.

Fabricam-se por extrusão tubos de aço de pequeno diâmetro (abaixo de 80 mm) e também tubos de alumínio, cobre, latão, chumbo e outros metais não-ferrosos, bem como de materiais plásticos.

2. *Fundição* — Nesses processos o material do tubo, em estado líquido, é despejado em moldes especiais, onde solidifica-se adquirindo a forma final.

Fabricam-se por esse processo tubos de ferro fundido, de alguns aços especiais não-forjáveis e da maioria dos materiais não-metálicos, tais como: concreto, cimento-amianto, barro-vidrado etc.

Os tubos de ferro fundido e de concreto são fabricados por fundição centrifugada, em que o material em estado líquido é lançado dentro de um molde cilíndrico em posição quase horizontal, dotado de um rápido movimento de rotação. O material é então centrifugado contra as paredes do molde, que continua em movimento até a solidificação completa do material. Os tubos de concreto armado são também vibrados durante a fabricação para o adensamento do concreto.

2.5 Fabricação de Tubos com Costura

Fabricam-se pelos diversos processos com costura, descritos a seguir, tubos de aços-carbono, aços-liga, aços

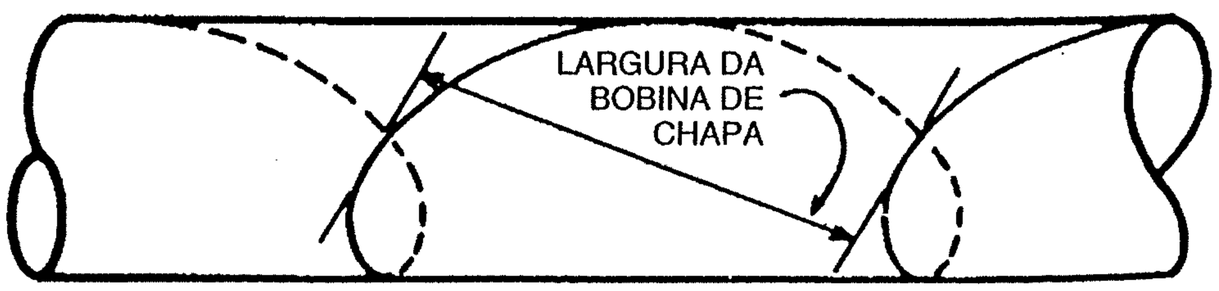


Fig. 2.4 Tubo com solda helicoidal.

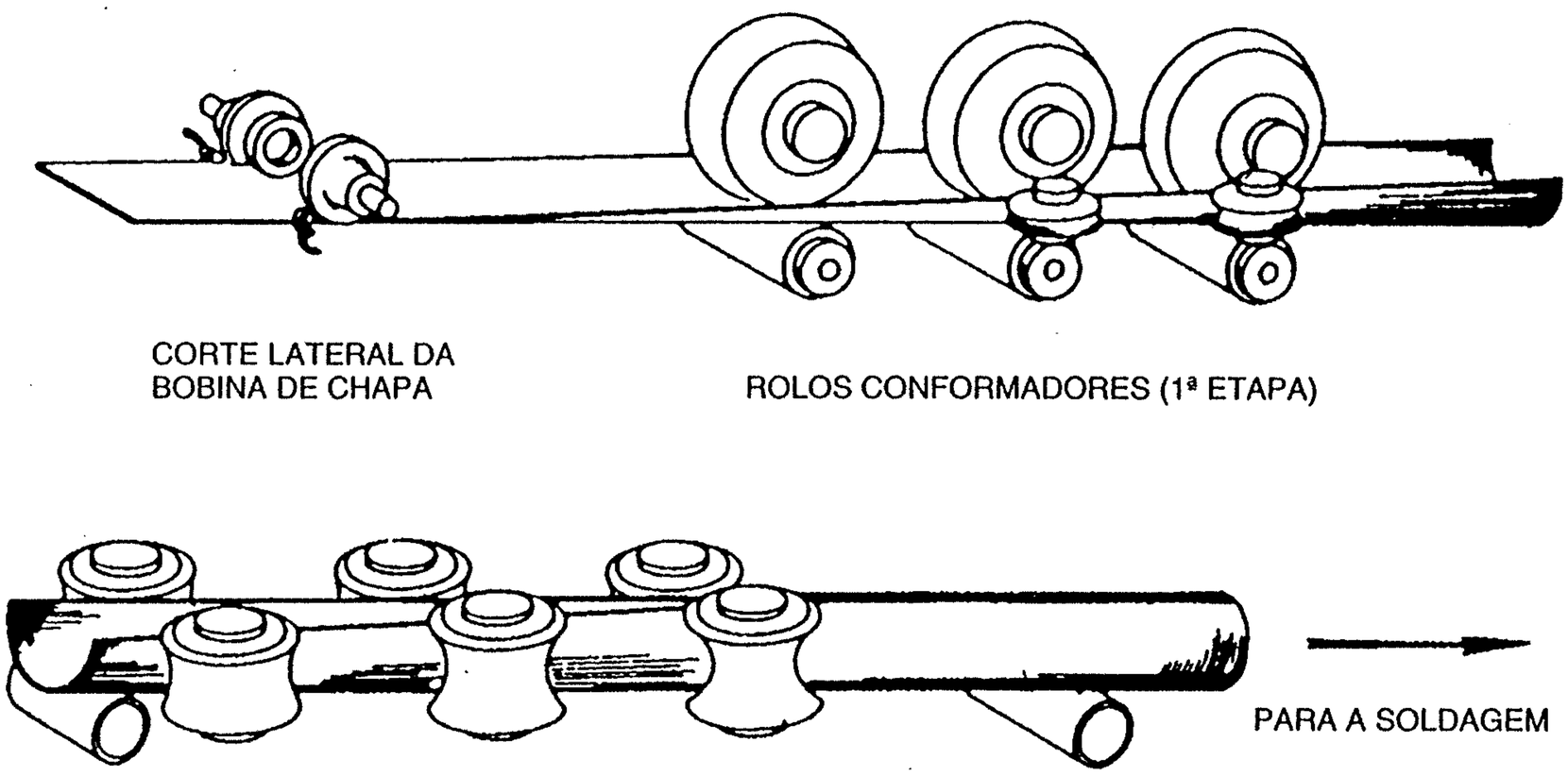


Fig. 2.5 Fabricação de tubos a partir de bobinas de chapa. (*Cortesia da Cia. Siderúrgica Mannesmann.*)

inoxidáveis e ferro forjado, em toda a faixa de diâmetros usuais na indústria.

Existem duas disposições da costura soldada: longitudinal (ao longo de uma geratriz do tubo) e helicoidal (*) (Fig. 2.4), sendo a longitudinal empregada na maioria dos casos. A soldagem é sempre feita automaticamente; existem vários processos de soldagem, sendo os mais empregados a soldagem por arco submerso (submerged arc welding), e por resistência elétrica, sem adição de metal (electric resistance welding).

Para os tubos com solda longitudinal a matéria-prima pode ser uma bobina de chapa enrolada, ou chapas planas avulsas. As bobinas são empregadas para a fabricação contínua de tubos de pequeno e de médio diâmetro (até 450 mm, aproximadamente), e as chapas planas, para tubos de médio e de grande diâmetro. Na fabricação contínua a partir de uma bobina, a circunferência do tubo é a largura da bobina, que deverá por isso ser cortada e aparada na largura exata, depois do desbobinamento e aplainação. O tubo é formado por meio de rolos conformadores que comprimem a chapa sucessivamente em duas direções (Fig. 2.5); a soldagem é feita por resistência elétrica e depois geralmente submetida a tratamento térmico, passando em seguida o tubo por rolos de calandragem e desempeno.

Na fabricação a partir de chapas planas avulsas, a conformação pode ser feita em prensas ou em calandras. Para diâmetros de tubos até 760 mm, a chapa é calandrada no sentido longitudinal, e para diâmetros maiores, no sentido transversal, porque a maior largura comercial de chapas de aço é de 2,44 m. A prensagem é feita em duas etapas, primeiro tomando o formato em "U" e depois, o formato em "O". A soldagem é feita em seguida, exigindo a norma ASME B.31 (**) que a solda seja de topo, no mínimo em dois passes, e feita externa e internamente. Os tubos são finalmente submetidos a um processo de expansão a frio, para corrigir a circularidade (*). A Fig. 2.6 mostra um fluxograma completo das diversas etapas de fabricação e de inspeção desses tubos.

Com a solda helicoidal, a matéria-prima é sempre uma bobina — para a fabricação contínua —, qualquer que seja o diâmetro do tubo, permitindo esse processo a fabricação de tubos sem limitação de diâmetro, mesmo muito grandes. A bobina é enrolada sobre si mesma, sendo a largura da bobina igual à distância entre duas espiras sucessivas da solda (Fig. 2.4). A soldagem pode ser feita por arco submerso ou por resistência elétrica. A norma ASME B.31, já citada, só permite o emprego de tubos com solda helicoidal em serviços de baixa responsabilidade, denominados "categoria D" (veja especificação ASTM A-134, no Item 2.7, a seguir).

Qualquer que seja o diâmetro ou o processo de fabricação, todos os tubos com costura são submetidos, individualmente, a um teste hidrostático de pressão interna, e a solda é inspecionada por radiografia ou por ultra-som.

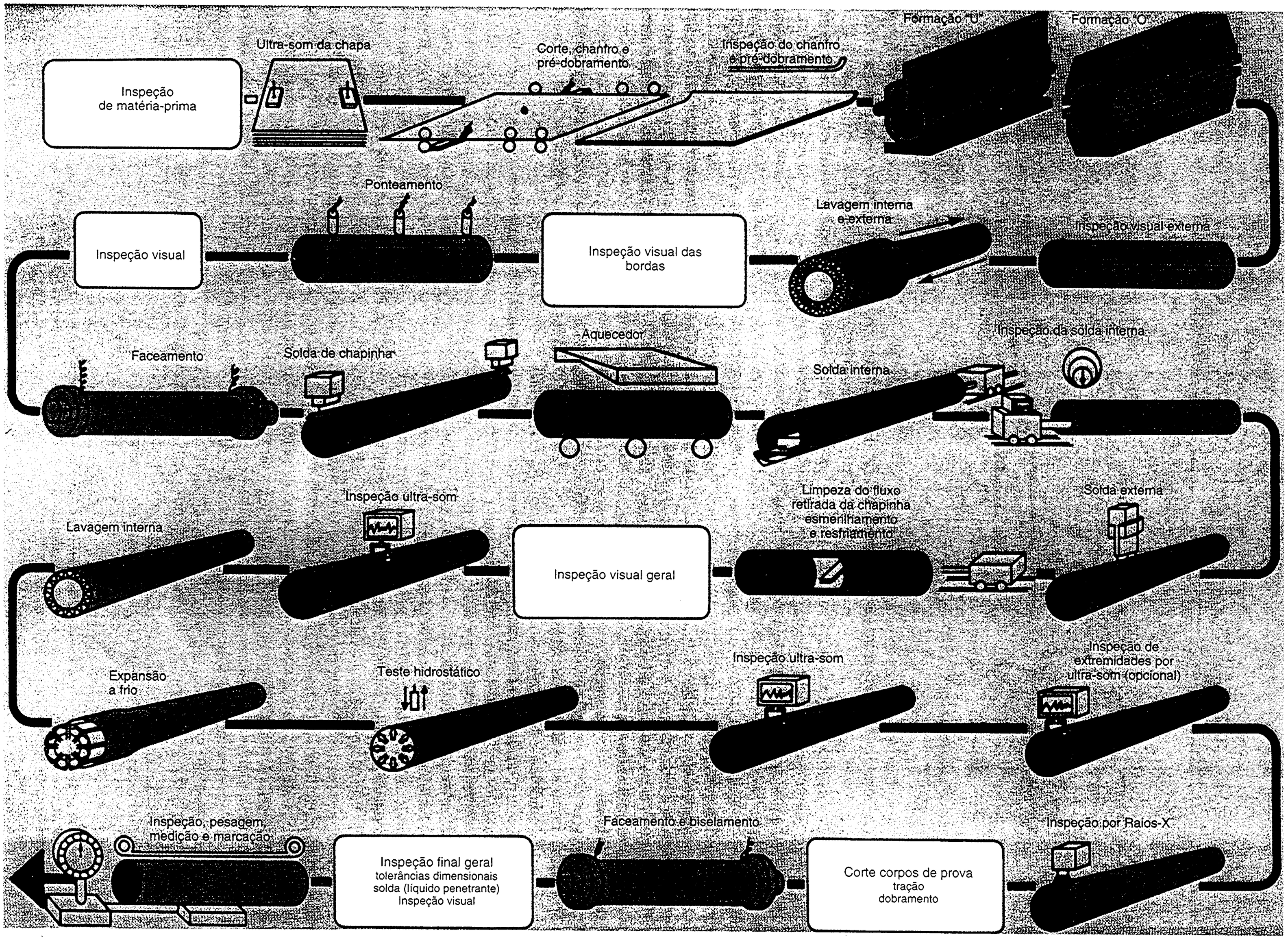
Ao contrário do que talvez possa parecer, os tubos com costura não são necessariamente de qualidade inferior aos sem costura, isto é, existem tubos com costura de alta qualidade, e tubos sem costura econômicos e de qualidade inferior. A qualidade de qualquer tubo — com ou sem costura — é determinada principalmente pelas maiores ou menores exigências da Especificação de Material de acordo com a qual o tubo é fabricado.

As tolerâncias de fabricação de tubos com costura (variação do diâmetro, da espessura, e ovalização) podem ser bem mais apertadas do que as relativas aos tubos sem costura. Nos tubos com solda de resistência elétrica, existe quase sempre uma pequena rebarba interna difícil de ser removida.

(*) A solda helicoidal é também chamada, erroneamente, de solda em espiral.

(**) A norma ASME B.31.3 é a norma norte-americana para tubulações pressurizadas na indústria do petróleo e nas indústrias químicas e petroquímicas, que veremos com mais detalhes no Cap. 17, e à qual faremos muitas referências no decorrer deste livro. Essa norma foi adotada pela ASME (American Society of Mechanical Engineers) em 1980, e anteriormente denominava-se ANSI B.31.3.

(*) A expansão a frio introduz tensões na parede dos tubos que podem dar origem a trincas de corrosão sob tensão em serviços nos quais essa forma de corrosão possa ocorrer. Para esses serviços recomenda-se evitar tubos expandidos a frio, ou submeter os tubos a um tratamento térmico de alívio de tensões depois da expansão a frio.



2.6 Fluxograma das diversas etapas de fabricação e de inspeção de tubos com costura a partir de chapas planas avulsas. (*Cortesia de Confab Industrial S.A.*)

2.6 Tubos de Aço-Carbono

Entre todos os materiais industriais existentes, o aço carbono é o que apresenta menor relação custo/resistência mecânica, além de ser um material fácil de soldar e de conformar, e também fácil de ser encontrado no comércio. Por todos esses motivos, o aço-carbono é o chamado "material de uso geral" em tubulações industriais, isto é, só se deixa de empregar o aço-carbono quando houver alguma circunstância especial que o proíba, e desta forma todos os outros materiais são utilizados apenas em alguns casos especiais de exceção. Em uma refinaria de petróleo, por exemplo, mais de 90% de toda tubulação é de aço-carbono; em outras indústrias de processo essa percentagem pode ainda ser maior. Emprega-se o aço-carbono para água doce, vapor de baixa pressão, condensado, ar comprimido, óleos, gases e muitos outros fluidos pouco corrosivos, em temperaturas desde −45°C, e a qualquer pressão.

As propriedades do aço-carbono são grandemente influenciadas por sua composição química e pela temperatura.

O aumento na quantidade de carbono no aço produz basicamente um aumento nos limites de resistência e de escoamento e na dureza e temperabilidade do aço; em compensação, esse aumento prejudica bastante a ductilidade e a soldabilidade do aço. Por esse motivo, em aços para tubos limita-se a quantidade de carbono até 0,35%, sendo que até 0,30% de C a solda é bastante fácil, e até 0,25% de C os tubos podem ser facilmente dobrados a frio.

Os aços-carbono podem ser "acalmados" (*killed-steel*) com adição de até 0,6% de Si, para eliminar os gases, ou "efervescentes" (*rimed-steel*), que não contêm Si. Os aços-carbono acalmados têm estrutura metalúrgica mais fina e uniforme e com menor incidência de defeitos internos, sendo assim de qualidade superior aos efervescentes. Recomenda-se o emprego de aços-carbono acalmados sempre que ocorrerem temperaturas acima de 400°C, ainda que por pouco tempo, ou para temperaturas inferiores a 0°C.

Os aços de baixo carbono (até 0,25%C) têm limite de resistência da ordem de 310 a 370 MPa (≅ 31 a 37 kg/mm²), e limite de escoamento de 150 a 220 MPa (≅ 15 a 22 kg/mm²). Para os aços de médio carbono (até 0,35%C), esses valores são respectivamente 370 a 540 MPa (≅ 37 a 54 kg/mm²), e 220 a 280 MPa (≅ 22 a 28 kg/mm²).

A resistência mecânica do aço-carbono começa a sofrer uma forte redução em temperaturas superiores a 400°C, em função do tempo, devido principalmente ao fenômeno de deformações permanentes por fluência (*creep*), que começa a ser observado a partir de 370°C, e que deve ser obrigatoriamente considerado para qualquer serviço em temperaturas acima de 400°C. As deformações por fluência serão tanto maiores e mais rápidas quanto mais elevada for a temperatura, maior for a tensão no material e mais longo for o tempo durante o qual o material esteve submetido à temperatura e à tensão.(*)

(*) Para propriedades, empregos e limitações de aços-carbono para tubos, veja o livro "Materiais para Equipamentos de Processo", do mesmo autor.

Em temperaturas superiores a 530°C o aço-carbono sofre uma intensa oxidação superficial (*scaling*), quando exposto ao ar, com formação de grossas crostas de óxidos (carepas), o que o torna inaceitável para qualquer serviço contínuo. Deve ser observado que em contato com outros meios essa oxidação pode-se iniciar em temperatura mais baixa. A exposição prolongada do aço-carbono a temperaturas superiores a 420°C pode causar ainda uma precipitação de carbono (grafitização), que faz o material ficar quebradiço.

Por todos esses motivos, recomendam-se os seguintes limites máximos de temperatura para tubulações de aço-carbono (*):

— Tubulações principais, serviço contínuo: 450°C.
— Tubulações secundárias, serviço contínuo: 480°C.
— Máximos eventuais de temperatura, de curta duração e não coincidentes com grandes esforços mecânicos: 520°C.

O aço-carbono apresenta uma transição de comportamento de dúctil para frágil em baixas temperaturas, ficando sujeito a fraturas frágeis repentinas, que podem ser catastróficas, com a perda total do equipamento. A temperatura de transição não é um valor definido para um determinado tipo de aço, sendo muito influenciada pela composição química, tamanho dos grãos, espessura da peça, nível de tensões, e principalmente pela existência de irregularidades geométricas na peça (entalhes-*notches*), inclusive causadas por defeitos internos no material ou por defeitos de solda.

De um modo geral, não se empregam aços-carbono para serviços em que possam ocorrer temperaturas inferiores a −45°C, ainda que sejam eventuais ou de curta duração. Na faixa de zero até −45°C, pode-se usar aço-carbono dentro de determinados requisitos, como veremos no Item 8.8.

O aço-carbono é um material de baixa resistência à corrosão, sendo muito raros os serviços para os quais não haja nenhuma corrosão. Por essa razão, é quase sempre necessário o acréscimo de alguma sobreespessura (margem para corrosão) em todas as partes de aço-carbono em contato com os fluidos de processo ou com a atmosfera, exceto se houver uma pintura ou outro revestimento protetor adequado. Essa margem para corrosão é um material que será consumido pela corrosão ao longo da vida útil da tubulação, sem comprometer a resistência mecânica da mesma. Será então, teoricamente, o produto da taxa anual prevista da corrosão, vezes o número de anos estimado para a vida útil. Veja sobre esse assunto o livro "Materiais para Equipamentos de Processo", já aqui citado. Mesmo assim, o aço-carbono pode ser usado, com uma vida útil aceitável, para a maioria dos processos industriais.

(*) Observações:
— Para a maioria dos serviços corrosivos esses limites devem ser mais baixos, porque a temperatura em geral acelera a corrosão.
— Todos esses limites são de prática, e não de norma, e por essa razão podem variar um pouco de uma fonte para outra.

O contato direto com o solo causa não só a ferrugem como uma corrosão por pites penetrante, que é mais grave em solos úmidos ou ácidos; esse contato deve por isso ser sempre evitado. O aço-carbono é violentamente atacado pelos ácidos minerais, principalmente quando diluídos ou quentes. O serviço com os álcalis, mesmo quando fortes, é possível até 70°C, devendo, entretanto, para temperaturas acima de 40°C, ser feito um tratamento térmico de alívio de tensões; temperaturas mais elevadas causam um grave problema de corrosão sob tensão no aço-carbono. De um modo geral, os resíduos da corrosão do aço-carbono não são tóxicos, mas podem afetar a cor e o gosto do fluido contido.

2.7 Especificações de Material para Tubos de Aço-Carbono

As principais Especificações de Material de origem norte-americana para tubos de aço-carbono são as citadas a seguir. É importante lembrar que os materiais de todos os componentes de qualquer tubulação industrial devem obrigatoriamente obedecer a alguma Especificação de Material, porque com os materiais sem especificação não se tem nenhuma garantia quanto à sua qualidade. Essa exigência se aplica não só aos tubos como também a todos os outros componentes de uma tubulação (válvulas, acessórios diversos, flanges, parafusos etc.).

A norma ASME B.31 enfatiza essa exigência para todas as tubulações dentro do âmbito da norma, proibindo o emprego de qualquer material que não obedeça a alguma especificação(*).

a) Especificações da ASTM (American Society for Testing and Materials):

1. *ASTM A53* — Especificação para tubos de qualidade média, com ou sem costura, de ⅛″ a 26″ de diâmetro nominal para uso em geral. Os tubos podem ser pretos (isto é, sem nenhum acabamento superficial) ou galvanizados. A especificação inclui tubos sem costura e com costura de solda de resistência elétrica; para qualquer dos processos de fabricação, a especificação define dois graus de material, denominados graus A e B, conforme a resistência mecânica e o teor de carbono no aço, como explicado a seguir.

2. *ASTM A106* — Especificação para tubos de alta qualidade, sem costura, de ⅛″ a 26″ de diâmetro nominal, para temperaturas elevadas. O aço-carbono deve ser sempre acalmado com silício. A especificação abrange três graus de material, A, B e C, sendo o grau C raramente empregado e não fabricado aqui no Brasil.

3. *ASTM A120* — Especificação para tubos de qualidade estrutural, pretos ou galvanizados, com ou sem costura, de ⅛″ a 26″ de diâmetro nominal. Essa especificação não prescreve exigências de composição química completa do material, não estabelecendo, por exemplo, limites máximos de carbono, cujo teor poderá estar assim mais alto do que o aceitável para boa soldabilidade. A norma ASME B.31.3 só permite o emprego desses tubos para os serviços enquadrados na denominada "Categoria D", o que inclui fluidos não-inflamáveis, não-tóxicos e não perigosos, em pressões até 1 MPa (≅ 10 kg/cm²) e em temperaturas até 185°C (*). Esses tubos, mais baratos do que os anteriores, podem ser empregados para água, ar comprimido, condensado, e outros serviços de baixa responsabilidade.

4. *ASTM A134* — Especificação para tubos com costura soldada por arco submerso, em diâmetros nominais de 16″, ou maiores, com solda longitudinal ou helicoidal. A norma ASME B.31.3 só permite o uso desses tubos para os serviços da "Categoria D".

5. *ASTM A135* — Especificação para tubos soldados por resistência elétrica, em diâmetros nominais de 2″ a 30″, abrangendo dois graus de material A e B. Pela norma já citada, o emprego desses tubos também só é permitido para os serviços de "Categoria D".

6. *ASTM A333* — Especificação para tubos com ou sem costura, especiais para serviços em baixas temperaturas. A especificação abrange vários graus de material, sendo os graus 1 e 6 de aço-carbono, acalmado com silício; os outros graus correspondem a aços-liga níquel, e serão referidos mais adiante no Item 2.9.

7. *ASTM A671* — Especificação para tubos fabricados com costura por solda elétrica (arco submerso), em diâmetro de 16″, ou maiores, para serviços em temperaturas ambiente e baixas. A especificação abrange 15 classes de material, designadas de 10 a 52, conforme as exigências de tratamentos térmicos, radiografia da solda e teste de pressão. Os tubos de aço-carbono são feitos a partir de chapas de aço acalmado (ASTM A516), ou não-acalmado (ASTM A285 Gr.C); a especificação inclui também tubos de aços-liga níquel, que serão referidos no Item 2.9(**).

8. *ASTM A672* — Especificação para tubos fabricados com costura por solda elétrica (arco submerso), em diâmetro de 16″, ou maiores, para serviços de altas pressões, em temperaturas moderadas. A especificação abrange 15 classes de material, designadas também de 10 a 52, como a A671. Os tubos de aço-carbono são feitos de chapas de aço acalmado (ASTM A515 ou A516), ou não-acalmado (ASTM A285 Gr.C); a especificação inclui também tubos de aço-liga molibdênio, que serão referidos no Item 2.9(**).

b) Especificações do API (American Petroleum Institute)

(*) Note-se que existem no comércio materiais ditos de "qualidade comercial", que não obedecem a nenhuma especificação, e por isso são vendidos mais barato.

(*) A norma ASME B.31.3 distingue duas classes de tubulações para serviços especiais, para as quais são feitas permissões ou exigências adicionais:
— "Categoria D": como descrito acima.
— "Categoria M": tubulações para fluidos altamente tóxicos.
De acordo com a norma, é obrigação do usuário determinar, em cada caso, as condições de operação da tubulação e as características do fluido, para o possível enquadramento de uma tubulação em qualquer uma dessas duas classes.
(**) As especificações A671, A672 e A691 (citadas a seguir, no Item 2.9), substituíram a antiga especificação A155, que foi cancelada.

1. *API 5L* — Especificação para tubos de qualidade média, com ou sem costura, de 1/8″ a 64″ de diâmetro nominal, em dois graus de material, A e B.

2. *API 5LX* — Especificação para tubos com ou sem costura, de aços-carbono de alta resistência, especial para oleodutos e gasodutos, abrangendo os oito seguintes graus de material, com os respectivos valores mínimos dos limites de resistência e de escoamento:

Graus	*Limite Resistência* (kg/mm^2)	*Limite Escoamento* (kg/mm^2)
X42	42	29
X46	44	32
X52	46	36
X56	50	39
X60	52	42
X65	54	45
X70	58	49
X80	63	56

De acordo com a norma ASME B.31.3, os tubos desta especificação não devem ser empregados para temperaturas acima de 200°C.

Estritamente falando, os tubos dos graus X56 a X80 não são de aço-carbono, e sim de aços de baixa liga, porque têm pequenas quantidades de Ti, V e Nb.

Notas Gerais:

1. Todas as especificações acima citadas (ASTM e API) contêm exigências de composição química e propriedades mecânicas do material, ensaios exigidos ou opcionais, dimensões e tolerâncias dimensionais, condições de aceitação e rejeição do material etc.

2. Os graus A e B, das especificações A53, A106, A135 e API-5L, e o grau C, da especificação A106, têm os seguintes valores do teor máximo de carbono, e mínimo dos limites de resistência e de escoamento:

Graus	% C (*máx.*)	*Limite Resistência* (kg/mm^2)	*Limite Escoamento* (kg/mm^2)
A	0,25	34	21
B	0,30	42	24
C	0,35	48	27

O grau A corresponde a aço de baixo carbono e os graus B e C a aços de médio carbono.

Para tubulações com diâmetro nominal até 2″ prefere-se usar os tubos de grau A, que são mais facilmente dobrados a frio (veja Itens 10.9.2 e 15.2.2); para tubulações com diâmetro nominal de 3″ ou maior, prefere-se usar os tubos de grau B, que têm maior resistência mecânica.

2.8 Aços-Liga e Aços Inoxidáveis — Casos Gerais de Emprego

Denominam-se "aços-liga" (alloy-steel) todos os aços que possuem qualquer quantidade de outros elementos, além dos que entram na composição dos aços-carbono. Dependendo da quantidade total de elementos de liga, distinguem-se os aços de baixa liga (low alloy-steel), com até 5% de elementos de liga, aços de liga intermediária (intermediate alloy-steel), contendo entre 5% e 10%, e os aços de alta liga (high alloy-steel), com mais de 10%.

Os aços inoxidáveis (stainless steel) são os que contêm pelo menos 12% de cromo, o que lhes confere a propriedade de não se enferrujarem mesmo em exposição prolongada a uma atmosfera normal.

Todos os tubos de aços-liga são bem mais caros do que os de aço-carbono, sendo de um modo geral o custo tanto mais alto quanto maior for a quantidade de elementos de liga. Além disso, a montagem e soldagem desses tubos é também em geral mais difícil e mais cara.

Como todas as instalações industriais estão sujeitas a se tornarem obsoletas em relativamente pouco tempo, não é em geral econômico nem recomendável o uso de aços-liga apenas para tornar muito mais longa a vida de uma tubulação.

Os principais casos em que se justifica o emprego dos aços especiais (aços-liga e inoxidáveis) são os seguintes:

a) Altas temperaturas — Temperaturas acima dos limites de uso dos aços-carbono, ou mesmo dentro desses limites, quando for exigida maior resistência mecânica, maior resistência à fluência, ou maior resistência à corrosão.

b) Baixas temperaturas — Temperaturas inferiores a −45°C, devido à possibilidade de fraturas frágeis com o aço-carbono.

c) Alta corrosão — Serviços com fluidos corrosivos, mesmo quando dentro da faixa de temperaturas de emprego dos aços-carbono. De um modo geral, os aços-liga e inoxidáveis têm melhores qualidades de resistência à corrosão do que os aços-carbono. Existem, entretanto, numerosos casos de exceção: a água salgada, por exemplo, destrói a maioria dos aços especiais tão rapidamente como os aços-carbono.

d) Exigência de não-contaminação — Serviços para os quais não se possa admitir a contaminação do fluido circulante (produtos alimentares e farmacêuticos, por exemplo). A corrosão, ainda que só seja capaz de destruir o material do tubo depois de muito tempo, pode causar a contaminação do fluido circulante quando os resíduos da corrosão são carregados pela corrente fluida. Por essa razão, nos casos em que não possa haver contaminação, empregam-se muitas vezes os aços especiais, embora do ponto de vista propriamente da corrosão não fossem necessários.

e) Segurança — Serviços com fluidos perigosos (em temperatura muito elevada, inflamáveis, tóxicos, explosivos etc.), quando for exigido o máximo de segurança contra possíveis vazamentos e acidentes. Também nesses casos, estritamente devido à corrosão, não seriam normalmente necessários os aços especiais.

No que se refere à corrosão, convém observar que, exceto quando entram em jogo também a exigência de não-contaminação do fluido ou a segurança, o problema é puramente econômico: quanto mais resistente à corrosão for o material, tanto mais longa será a vida da tubulação. Portanto, a decisão será tomada como resultado da comparação do custo dos diversos materiais possíveis, com o custo de reposição da tubulação, incluindo-se o custo de operação e de paralisação do sistema.

2.9 TUBOS DE AÇOS-LIGA

Duas classes de aços-liga são importantes como materiais para tubulações:

—Aços-liga molibdênio e cromo-molibdênio.
—Aços-liga níquel.

Os aços-liga molibdênio e cromo-molibdênio contêm até 1% de Mo e até 9% de Cr, em diversas proporções, como mostra a Tabela 2.1, sendo materiais ferríticos (magnéticos), específicos para emprego em temperaturas elevadas. O cromo causa principalmente uma sensível melhoria na resistência à oxidação — inclusive em temperaturas elevadas —, e na resistência à corrosão em geral, sobretudo aos meios oxidantes, sendo esses efeitos tanto mais acentuados quanto maior for a quantidade de cromo. Por essa razão, esses aços podem ser empregados em temperaturas mais elevadas do que o permitido para o aço-carbono, como mostram os limites indicados na Tabela 2.1.(*)

Até a quantidade de 2,5% de Cr, há um ligeiro aumento na resistência à fluência, sendo que percentagens maiores de Cr reduzem de forma acentuada essa resistência (exceto nos aços inoxidáveis austeníticos, contendo níquel). Por esse motivo, os aços-liga com até 2,5% de Cr são específicos para serviços de alta temperatura, com grandes esforços mecânicos e baixa corrosão, para os quais a principal preocupação é a resistência à fluência, enquanto que os aços com maior quantidade de cromo são específicos para serviços em alta temperatura, com esforços mecânicos reduzidos e alta corrosão, onde se deseja principalmente resistência à oxidação ou à corrosão.

O molibdênio é o elemento mais importante na melhoria da resistência à fluência do aço, contribuindo também para aumentar a resistência à corrosão por pites.

Da mesma forma que os aços-carbono, esses aços-liga sofrem também a transição dúctil-frágil em baixas temperaturas, não devendo por isso ser empregados em nenhum serviço com temperatura inferior a 0°C.

Os aços-liga Mo e Cr-Mo também se enferrujam, embora mais lentamente do que os aços-carbono. O comportamento desses aços em relação aos ácidos e álcalis é semelhante ao do aço-carbono.

Um caso típico de emprego de aços-liga Cr-Mo de baixo cromo são as tubulações de vapor superaquecido,

Tabela 2.1

Especificação ASTM e grau Tubos sem costura	*Elementos de liga* (%)			*Limites de temperatura para serviço contínuo não corrosivo* (°C)
	Cr	Mo	Ni	
A-335 Gr. P1	—	½	—	480
A-335 Gr. P5	5	½	—	480
A-335 Gr. P7	7	½	—	480
A-335 Gr. P9	9	1	—	600
A-335 Gr. P11	1¼	½	—	520
A-335 Gr. P22	2¼	1	—	570
A-333 Gr. 3	—	—	3½	−100
A-333 Gr. 7	—	—	2¼	−60

para as quais o material mais empregado é o aço contendo 1 ¼% Cr-½% Mo. Quanto aos aços-liga Cr-Mo de cromo mais alto, um caso típico de emprego são as tubulações para hidrocarbonetos em temperaturas elevadas, para as quais o material mais empregado é o aço contendo 5% Cr-½% Mo. Todos os aços-liga Cr-Mo são também indicados para serviços com hidrogênio. Nos Itens 8.4, 8.5, 8.7 e 8.10, do Cap. 8, veremos com mais detalhes esses diversos casos específicos de aplicação.

Os aços-liga contendo níquel são materiais específicos para uso em temperaturas muito baixas, sendo a temperatura limite tanto mais baixa quanto maior for a quantidade de níquel, como mostra a Tabela 2.1.

Tanto os aços-liga Mo e Cr-Mo como também os aços-liga Ni são materiais mais difíceis de soldar do que o aço-carbono, exigindo quase sempre tratamentos térmicos, como será visto no Cap. 15.

As principais Especificações de Material da ASTM para tubos de aços-liga são as seguintes:

—Tubos sem costura: A-335, para os aços-liga Mo e Cr-Mo, e A-333 para os aços-liga Ni.

—Tubos com costura (de grande diâmetro): A-671 (já citada no Item 2.7), para os aços-liga 2½ Ni e 3½ Ni, A-672 (também já citada), para o aço-liga ½ Mo, e A-691, para os diversos tipos de aços-liga Cr-Mo.

O processo de fabricação, faixa de diâmetros e classes de todos os tubos A-671 e A-672, bem como A-691, são os mesmos já referidos no Item 2.7.

2.10 TUBOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Existem duas classes principais de aços inoxidáveis para tubulações: os austeníticos (não-magnéticos), contendo basicamente 16% a 26% de Cr e 6% a 22% de Ni, e os ferríticos (magnéticos), contendo basicamente 12% a 30% de Cr, sendo os austeníticos o grupo mais importante. A Tabela 2.2 mostra os tipos de aços inoxidáveis mais empregados para tubos.

Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam uma extraordinária resistência à fluência e à oxidação, razão pela qual são bem mais elevados os valores das temperaturas limites de utilização (como se vê na Tabela 2.2), exceto para

(*) Para propriedades, empregos e limitações de aços-liga e aços inoxidáveis para tubos, veja o livro "Materiais para Equipamentos de Processo", já citado.

Tabela 2.2

Tipos (denominação do AISI)	*Estrutura metalúrgica*	*Elementos de liga (%)*			*Limites de temperatura (°C)*	
		Cr	*Ni*	*Outros*	*Máxima*	*Mínima*
304	Austenítica	18	8		600	− 255
304 L	Austenítica	18	8	C (máx.): 0,03	400	sem limite
310	Austenítica	25	20		600	− 195
316	Austenítica	16	10	Mo: 2	650	− 195
316 L	Austenítica	16	10	Mo: 2; C (máx.): 0,03	400	− 195
321	Austenítica	17	9	Ti: 0,5	600	− 195
347	Austenítica	17	9	Nb + Ta: 1	600	− 255
405	Ferrítica	12	—	Al: 0,2	470	Zero

os tipos de muito baixo carbono (304 L e 316 L), em que o limite é de 400°C devido à menor resistência mecânica desses aços. Os aços austeníticos mantêm o comportamento dúctil mesmo em temperaturas extremamente baixas, podendo alguns serem empregados até próximo de zero absoluto. Esses aços são todos materiais de solda fácil, não exigindo nenhum tratamento térmico.

Os aços inoxidáveis austeníticos em geral — exceto os estabilizados e os de baixo carbono — estão sujeitos a um fenômeno de precipitação de carbonetos de Cr, denominado "sensitização", quando submetidos a temperaturas entre 450° e 850°C. Os aços sensitizados podem apresentar uma forma grave de corrosão (corrosão intergranular), principalmente em meios ácidos. A sensitização pode ser controlada pela adição de Ti ou Nb(*) (aços estabilizados, tipos 321 e 347, por exemplo), ou pela diminuição no teor de carbono (aços de muito baixo carbono, tipos 304 L e 316 L, por exemplo). A sensitização pode ser causada pelo trabalho em temperaturas elevadas e também pela soldagem (sensitização junto ao cordão de solda), ou por tratamentos térmicos. Por esse motivo, para todos os serviços onde houver possibilidade de ocorrer corrosão intergranular recomenda-se o emprego de aços estabilizados, para as tubulações com temperatura de operação acima de 450°C, e de aços de baixo carbono, para as tubulações com temperatura de operação até 450°C.(**)

A presença mesmo de ínfimas quantidades de HCl, cloretos, hipocloritos etc. (íon cloro em geral), em presença de água ou de umidade, isto é, em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, pode causar severa corrosão por pites e sob-tensão em todos os aços inoxidáveis austeníticos, devendo por isso ser sempre evitada.

Os tubos de inoxidáveis austeníticos são usados, entre outros serviços, para: temperaturas muito elevadas, temperaturas muito baixas (serviços criogênicos), serviços corrosivos oxidantes, produtos alimentares e farmacêuticos e outros serviços com exigência de não-contaminação, bem como para hidrogênio em pressões e temperaturas elevadas etc.

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam, em relação aos austeníticos, bem menor resistência à fluência e à corrosão em geral, assim como menor temperatura de início de oxidação, sendo por isso mais baixas as temperaturas limites de uso. Em compensação, são materiais mais baratos do que os austeníticos e menos sujeitos aos fenômenos de corrosão por pites e sob-tensão. Esses aços são todos difíceis de soldar e não são adequados a serviços em baixas temperaturas.

A principal especificação de material da ASTM para tubos de aços inoxidáveis austeníticos é a A-312, que abrange tubos sem costura e com costura.

2.11 Diâmetros Comerciais dos "Tubos para Condução" de Aço

Os diâmetros comerciais dos "tubos para condução" (steel pipes) de aço-carbono e de aços-liga estão definidos pela norma americana ANSI. B.36.10, e para os tubos de aços inoxidáveis pela norma ANSI. B.36.19. Essas normas abrangem os tubos fabricados por qualquer um dos processos usuais de fabricação.

Todos esses tubos são designados por um número chamado "Diâmetro Nominal IPS" (Iron Pipe Size), ou "bitola nominal". A norma ANSI. B.36.10 abrange tubos com diâmetros nominais de ⅛″ ϕ até 36″ ϕ, e a norma ANSI. B.36.19 abrange tubos de ⅛″ ϕ até 12″ ϕ. De ⅛″ até 12″ o diâmetro nominal *não corresponde* a nenhuma dimensão física dos tubos; de 14″ até 36″, o diâmetro nominal *coincide com o diâmetro externo dos tubos.*

Para cada diâmetro nominal fabricam-se tubos com várias espessuras de parede, denominadas "séries" (schedule), como veremos no Item 2.12, a seguir. Entretanto, para cada diâmetro nominal, o *diâmetro externo é sempre o mesmo*, variando apenas o diâmetro interno, que será tanto menor quanto maior for a espessura do tubo. Por exemplo, os tubos de aço de 8″ de diâmetro nominal têm todos um diâmetro externo de 8,625″. Quando a espessura deles corresponde à série 20, a mesma vale 0,250″, e o diâmetro interno vale 8,125″. Para a série 40, a espessura vale 0,322″, e o diâmetro interno 7,981″; para a série 80, a espessura vale 0,500″, e o diâmetro interno 7,625″; para a série 160, a espessura vale

(*) O nióbio (Nb) é denominado de colúmbio (Cb) na bibliografia norte-americana.
(**)Veja sobre esse assunto o livro "Materiais para Equipamentos de Processo", já citado.

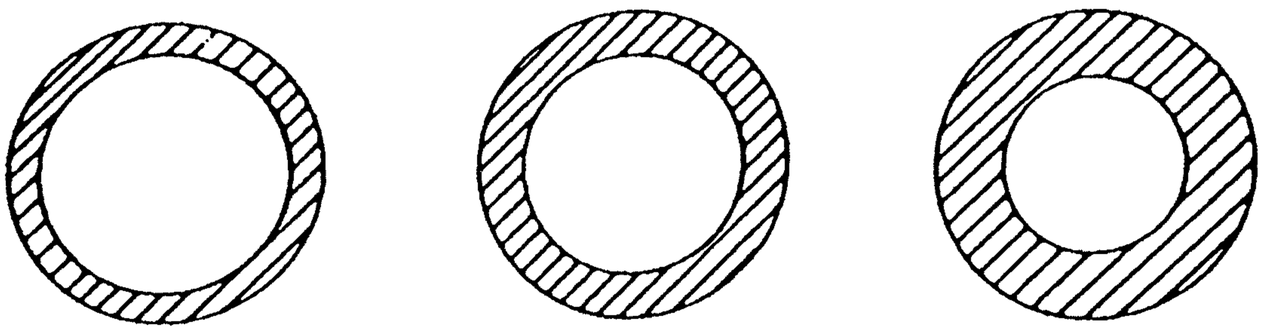


Fig. 2.7 Seções transversais em tubos de 1″ de diâmetro nominal. (Diâmetro externo 33,4 mm = 1,315 pol.)

0,906″, e o diâmetro interno 6,813″, e assim por diante. A Fig 2.7 mostra as seções transversais de três tubos de 1″ de diâmetro nominal, com diferentes espessuras.

A listagem completa de ⅛″ ϕ até 36″ ϕ inclui um total de cerca de 300 espessuras diferentes. Dessas todas, cerca de 100 apenas são usuais na prática, e são fabricadas correntemente; as demais espessuras fabricam-se somente por encomenda. Os diâmetros nominais padronizados pela norma ANSI.B.36.10 são os seguintes: ⅛″, ¼″, ⅜″, ½″, ¾″, 1″, 1¼″, 1½″, 2″, 2½″, 3″, 3½″, 4″, 5″, 6″, 8″, 10″, 12″, 14″, 16″, 18″, 20″, 22″, 24″, 26″, 30″ e 36″.(*)

Os diâmetros nominais de 1¼″, 2½″, 3½″ e 5″, embora constem nos catálogos, são pouco usados na prática e por isso devem ser evitados nos projetos. Os tubos de diâmetros acima de 36″ ϕ não são padronizados, sendo fabricados apenas por encomenda, e somente com costura, pelos processos de fabricação por solda.

A normalização dimensional das normas ANSI.B.36.10 e 36.19, que acabamos de descrever, foi adotada pela norma brasileira P-PB-225, da ABNT.

Para os tubos sem costura os comprimentos nunca são valores fixos, porque dependem do peso do lingote de que é feito o tubo, variando na prática entre 6 e 10 m, embora existam tubos com comprimento de até 18 m. Os tubos com costura podem ser fabricados em comprimentos certos predeterminados; como, entretanto, essa exigência encarece os tubos sem vantagens para o uso corrente, na prática esses tubos têm também quase sempre comprimentos variáveis de fabricação (random lenghts). Os tubos de fabricação nacional com costura longitudinal de solda por arco submerso podem ter comprimentos de até 12 m, e os tubos com solda longitudinal por solda de resistência elétrica, comprimentos de até 18 m.

Os tubos de aço são fabricados com três tipos de extremidade, de acordo com o sistema de ligação a ser usado (como veremos no Cap. 3, a seguir):

—Pontas lisas, simplesmente esquadrejadas.
—Pontas chanfradas, para uso com solda de topo.
—Pontas rosqueadas (rosca especificação API-5B e ANSI ASME.B.1.20.1).

(*) Para a tabela completa dos tubos de acordo com a norma veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", de P. C. da Silva Telles e Darcy G. de Paula Barros.

Os tubos com extremidades rosqueadas costumam ser fornecidos com uma luva; veja Fig. 3.1, no Cap. 3. A Fig. 2.8 mostra os tipos de extremidades de tubos.

2.12 Espessuras de Parede dos "Tubos para Condução" de Aço

Antes da norma ANSI.B.36.10 os tubos de cada diâmetro nominal eram fabricados em três espessuras diferentes conhecidas como: "Peso normal" (Standard — S), "Extraforte" (Extra-strong — XS), e "Duplo Extraforte" (Double extra-strong — XXS). Estas designações, apesar de obsoletas, ainda estão em uso corrente. Para os tubos de peso normal até 12″ ϕ, o diâmetro interno é aproximadamente igual ao diâmetro nominal.

Pela norma ANSI.B.36.10, foram adotadas as "séries" (Schedule Number) para designar a espessura (ou peso) dos tubos. O número de série é um número obtido aproximadamente pela seguinte expressão:

$$\text{Série} = \frac{1.000\ P}{S}$$

em que P = pressão interna de trabalho em psig; S = tensão admissível do material em psi.

A citada norma padronizou as séries 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160, sendo que, para a maioria dos diâmetros nominais, apenas algumas dessas espessuras são fabricadas. A série 40 corresponde ao antigo "peso normal" nos diâmetros até 10″, e são as espessuras mais comumente usadas na prática, para os diâmetros de 3″ ou maiores. Para os tubos acima de 10″ ϕ, a série 40 é mais pesada do que o antigo peso normal. Para os tubos até 8″ ϕ, a série 80 corresponde ao antigo XS. Fabricam-se ainda tubos até 8″ com a espessura XXS, que não têm correspondente exato nos números de série, sendo próximo da série 160.

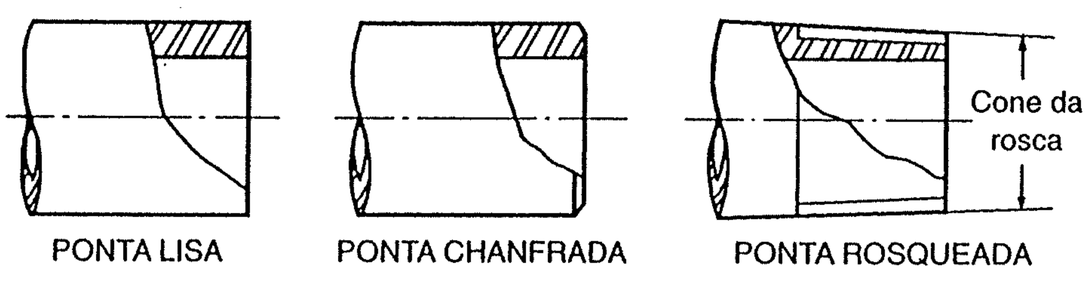


Fig. 2.8 Tipos de extremidades de tubos de aço.

Na norma ANSI B.36.19, para tubos de aços inoxidáveis, as espessuras normalizadas têm os mesmos valores numéricos da norma ANSI B.36.10, e as designações de espessuras são também as mesmas, acrescidas da letra *S* depois do número de série. Os tubos de aços inoxidáveis existem somente em espessuras pequenas, no máximo até a espessura 80 *S*, sendo que para os diâmetros nominais 10 e 12 existe a espessura 5 *S*, que não tem correspondente na norma ANSI B.36.10.

Para diâmetros pequenos, até 2″ ϕ, é usual na prática especificarem-se apenas tubos de parede grossa (séries 80 ou 160) para que o tubo tenha resistência estrutural própria, para vencer maior vão entre suportes, simplificando assim e barateando o sistema de suportes e reduzindo a ocorrência de vibrações (veja Item 4.1, no livro "Tubulações Industriais — Cálculo", do mesmo autor).

2.13 Dados para Encomenda ou Requisição de Tubos

Os "tubos para condução" são sempre referidos ao seu diâmetro nominal.

Para a encomenda ou requisição de tubos os seguintes dados mínimos devem ser indicados: quantidade (em unidades de comprimento ou de peso), diâmetro nominal, espessura de parede ou número de série, norma dimensional que deva ser obedecida, especificação completa do material (especificação, grau ou classe do material), tipo de extremidades (especificação do tipo do chanfro ou da rosca, quando for o caso). Em alguns casos, é ainda necessário indicar no documento de compra o processo (ou processos) de fabricação e de acabamento dos tubos, revestimentos internos ou externos, e condições ou exigências especiais que houver, em particular quando existirem exigências fora ou além do que é exigido pelas normas.

Exemplo: 500 m de tubos para condução de 8″ de diâmetro nominal, espessura série 40, de acordo com a norma ANSI B.36.10, de aço-carbono, sem costura, ASTM A-53 Gr. B, extremidades para solda de topo, com chanfros de acordo com a norma ANSI B.16.25.

2.14 Tubos de Aços Fabricados no Brasil

São as seguintes, em resumo, as principais linhas de fabricação de tubos de aços no Brasil (tubos para condução):

1. Tubos sem Costura:

— Tubos pretos (*), com pontas lisas ou chanfradas, de ½″ a 14″ de diâmetro nominal, de acordo com as especificações ASTM-A-106, ASTM A-120, ASTM-A-53, API-5L, API-5 LX, ASTM-A-333 (Graus 1, 3, 6, 7) e ASTM-A-335 (Graus P1, P2, P5, P7, P11, P12, P21, P22).

— Tubos pretos ou galvanizados, com rosca e luva, de ½″ a 10″ de diâmetro nominal, nas séries 40 e 80, de acordo com a especificação ASTM-A-120.

— Tubos pretos, pesados, para vapor, com rosca e luva, de aço comum, de 10 a 200 mm de diâmetro nominal, de acordo com a norma alemã DIN-2441.

— Tubos pretos ou galvanizados, leves, para água, ar ou gás, com rosca e luva, de 10 a 200 mm de diâmetro nominal, de acordo com a norma alemã DIN -2440.

2. Tubos com Costura de Solda Longitudinal por Arco Submerso:

— Tubos pretos com pontas chanfradas, de 12″ a 48″ de diâmetro nominal, e espessuras de até 25 mm, de acordo com as especificações API-2B, API-5A, API-5L, API-5LX, ASTM A-53, ASTM A-120, ASTM A-134, ASTM A-135, ASTM A-139, ASTM A-252, ASTM A-671, ASTM A-672, AWWA C-200.(*)

3. Tubos com Costura de Solda Longitudinal por Resistência Elétrica:

— Tubos pretos, com pontas lisas, chanfradas ou rosqueadas, de diâmetro nominal até 18″, de acordo com as especificações API-5L, API-5LX, ASTM-A-53, ASTM-A-120, ASTM-A-135, A-139 e ASTM-A-252.

— Idem, galvanizados, com pontas rosqueadas, até 16″ de diâmetro nominal, de acordo com a especificação A-120.

— Tubos de aços inoxidáveis de acordo com a especificação ASTM-A-312 (diversos graus), de diâmetro nominal até 3″.

4. Tubos com Costura de Solda Helicoidal:

— Tubos pretos, com pontas chanfradas, de 24″ a 72″ de diâmetro nominal, de acordo com as especificações API-5LS, ASTM-A-134, ASTM-A-139, ASTM-A-211, ASTM-A-252 e AWWA C-200.

2.15 Tubos de Ferro Fundido e de Ferro Forjado

Os tubos de ferro fundido são usados para água, gás, água salgada e esgoto, em serviços de baixa pressão, temperatura ambiente, e onde não ocorram grandes esforços mecânicos. Esses tubos têm boa resistência à corrosão, principalmente à corrosão pelo solo, e grande duração. São fabricados por fundição centrifugada.

No Brasil há vários fabricantes de tubos de ferro fundido, que fabricam tubos de 2″ até 24″ de diâmetro externo

(*) "Tubos pretos" significa tubos de aço sem nenhum revestimento ou proteção externa.

(*) AWWA: American Water Works Association.

(50 mm a 600 mm) com extremidades lisas, de ponta e bolsa, rosqueadas, e com flanges integrais, de acordo com as normas EB-43 e P-EB-137 da ABNT. Esses tubos são testados para pressões até 3 MPa (≅ 30 kg/cm²).

Os tubos de ferro forjado são conhecidos no comércio como "tubos de ferro galvanizado", pelo fato de serem quase sempre galvanizados. Empregam-se esses tubos em tubulações industriais secundárias, de baixas pressões e temperaturas para água, ar comprimido, condensado etc.; são também os tubos usados em instalações prediais de água e gás. Esses tubos são fabricados pelo processo de solda de resistência elétrica, até 4", nos mesmos diâmetros e espessuras de parede dos tubos de aço. Os tubos de ferro forjado têm baixa resistência mecânica e boa resistência à corrosão, equivalente à do ferro fundido e bem melhor do que a do aço-carbono. Esses tubos resistem muito bem ao contato com a água, a atmosfera e o solo.

Fabricam-se também tubos de ferro fundido nodular e de ferros-ligados (ferro fundido com adição de Si, Cr ou Ni); esses materiais têm melhores qualidades mecânicas e maior resistência à corrosão do que o ferro fundido comum, sendo, entretanto, consideravelmente mais caros. O ferro-silício, por exemplo, que é a mais comum dessas ligas, pode chegar a conter até 14% de Si; é um material muito duro, resistindo muito bem ao ataque da maioria dos ácidos e com excepcional resistência à abrasão.

A norma ASME B.31.3 só permite o uso de tubos de ferro fundido (qualquer classe de ferro) para hidrocarbonetos ou outros fluidos inflamáveis, dentro de unidades de processo, para tubulações enterradas, em temperaturas até 150°C e pressões até 1 MPa (≅ 10 kg/cm²); em outros locais a pressão permitida pode ir até 2,7 MPa (≅ 27 kg/cm²). A mesma norma proíbe o uso desses tubos para fluidos tóxicos em quaisquer condições (categoria "M"), bem como para temperaturas inferiores a 0°C, e para serviços altamente cíclicos(*).

2.16 Tubos de Metais Não-Ferrosos

Fazendo-se uma comparação geral entre os metais não-ferrosos e o aço-carbono, podemos dizer que os metais não-ferrosos têm melhor resistência à corrosão e preço mais elevado; a maioria desses metais tem, em relação ao aço-carbono, menor resistência mecânica e menor resistência às altas temperaturas, apresentando, entretanto, muito melhor comportamento em baixas temperaturas. Devido principalmente ao seu alto custo, os tubos de metais não-ferrosos são pouco usados. Para muitos serviços corrosivos, os metais não-ferrosos têm sido substituídos pelos materiais plásticos, com vantagens de preços e de resistência à corrosão.

(*) A norma ASME.B.31.3 define como serviço "altamente cíclico" aquele em que o número de ciclos de pressão e/ou de temperatura é superior a 7.000, durante a vida útil prevista para a tubulação, o que representa, na prática, pelo menos um ciclo de pressão e/ou de temperatura em 24 horas.

1. *Cobre e suas ligas* — Fabricam-se tubos de uma grande variedade desses materiais, incluindo cobre comercialmente puro, e diversos tipos de latões e de cobre-níquel. Os latões são basicamente ligas cobre e zinco, e os cobre-níquel são ligas cobre e níquel. O emprego de todos esses materiais tem diminuído muito devido ao custo elevado.

Esses tubos têm excelente resistência ao ataque da atmosfera, da água (inclusive água salgada), dos álcalis, dos ácidos diluídos, de muitos compostos orgânicos e de numerosos outros fluidos corrosivos. As ligas de cobre estão sujeitas a severo efeito de corrosão sob tensão quando em contato com amônia, aminas e outros compostos nitrogenados. Todos esses materiais podem ser empregados em serviço contínuo desde −180°C até 200°C.

Devido ao alto coeficiente de transmissão de calor, os tubos de cobre e de latão são empregados em serpentinas e como tubos de aquecimento e de refrigeração. Em diâmetros pequenos (até 2"), os tubos de cobre são também empregados para água, ar comprimido, óleos, vapor de baixa pressão, serviços de refrigeração e para transmissão de sinais de instrumentação.

Os tubos de cobre e de suas ligas não devem ser empregados para produtos alimentares ou farmacêuticos pelo fato de deixarem resíduos tóxicos pela corrosão.

As principais especificações de material da ASTM para esses tubos são:

Tubos de cobre	B-68, B-75 e B-88
Tubos de latão	B-111
Tubos de cobre-níquel	B-466

2. *Alumínio e suas ligas* — Os tubos desses metais são muito leves (cerca de ⅓ do peso do aço), têm alto coeficiente de transmissão de calor e têm muito boa resistência ao contato com a atmosfera, a água e muitos compostos orgânicos, inclusive ácidos orgânicos. Os resíduos resultantes da corrosão não são tóxicos.

A resistência mecânica do alumínio é baixa; pode, entretanto ser melhorada pela adição de pequenas quantidades de Fe, Si, Mg e outros metais. Tanto o alumínio como as suas ligas podem trabalhar em serviço contínuo desde −270°C até 200°C. É notável principalmente o seu comportamento em temperaturas extremamente baixas, sendo o alumínio o material de menor custo que pode ser usado em temperaturas criogênicas.

Os tubos de alumínio são empregados para sistemas de aquecimento e de refrigeração, serviços criogênicos e serviços com exigência de não-contaminação. Um defeito grave do alumínio é o seu baixo ponto de fusão, o que proíbe o seu emprego em tubulações que devam ser a prova de fogo, principalmente quando conduzindo fluidos perigosos.

A principal especificação de material da ASTM para esses tubos é a B-241 (tubos para condução).

3. *Chumbo* — Os tubos de chumbo são macios, pesados, têm muito baixa resistência mecânica, mas apresentam excepcional resistência à corrosão, resistindo muito

bem à atmosfera, ao solo, às águas (inclusive salgadas e aciduladas), aos álcalis, aos halógenos e a numerosos outros meios corrosivos. O chumbo é dos raros materiais metálicos que podem trabalhar com ácido sulfúrico, em qualquer concentração. A temperatura limite de trabalho, dependendo da liga, vai de 120°C a 200°C.

Os tubos de chumbo podem ser empregados para tubulações de esgoto, sem pressão, tanto prediais como industriais.

4. *Níquel e suas ligas* — São os seguintes os principais materiais dessa classe empregados na fabricação de tubos: níquel comercial, metal Monel (67% Ni, 30% Cu), Inconel (80% Ni, 13% Cr). Todos esses materiais apresentam simultaneamente excepcional resistência à corrosão e muito boas qualidades mecânicas e de resistência às temperaturas, tanto elevadas como muito baixas. Além de resistirem muito bem aos meios corrosivos usuais, podem também ser empregados para serviços com vários ácidos diluídos e álcalis quentes. O mais usual desses materiais é o metal Monel, que é empregado para tubulações de água salgada, ácido sulfúrico diluído, ácido clorídrico diluído, ácido fluorídrico, álcalis aquecidos e outros serviços corrosivos ou com exigência de não-contaminação. Para serviços oxidantes os limites de temperatura são de 550°C para o metal Monel, 1.050°C para o níquel e 1.100°C para o Incoloy; o limite de baixa temperatura é de −200°C para todas as ligas de Ni. O custo muito elevado desses materiais restringe o seu uso a poucos casos especiais.

5. *Titânio, zircônio e suas ligas* — Esses materiais eram considerados até há pouco tempo como metais raros, quase curiosidades de laboratório. Atualmente esses metais têm emprego industrial corrente, e um grande futuro, embora os seus preços ainda estejam extremamente elevados.

Esses metais têm propriedades extraordinárias tanto de resistência à corrosão, como de resistência às temperaturas, e qualidades mecânicas; além disso, o peso específico é cerca de dois terços do peso dos aços. O comportamento em relação a numerosos meios fortemente corrosivos é melhor do que o dos aços inoxidáveis e das ligas de níquel.

2.17 Diâmetros e Espessuras dos Tubos Não-Ferrosos

Os tubos de cobre, latão, cobre-níquel, alumínio e suas ligas são fabricados em duas séries de diâmetros e espessuras:

1. Diâmetros de ¼″ ϕ a 12″ ϕ, medidos pelo diâmetro externo, e com espessuras de acordo com os calibres BWG, ou em decimais de polegada. Esse é o sistema mais comum de se encontrar esses tubos. Os tubos de cobre fabricam-se em três espessuras mais usuais, conhecidas como K, L, e M, sendo a K a mais pesada.

2. Diâmetros nominais de ½″ ϕ a 12″ ϕ (IPS) e espessuras séries 20 e 40, como para os tubos de aço.

Os tubos de chumbo são fabricados em diâmetros de ¼″ ϕ a 12″ ϕ, medidos pelo diâmetro interno, em várias espessuras, e vendidos em rolos.

Os tubos de cobre são encontrados em barras rígidas de 6 m de comprimento, ou em rolos. Os tubos de latão e de alumínio são encontrados apenas em barras rígidas geralmente com 6 m de comprimento.

No Brasil fabricam-se tubos extrudados de cobre, latão e alumínio de ⅛″ a 5″, de diâmetro externo, com espessuras de parede de 1⁄16″ a 1⅛. Os tubos de cobre estão padronizados na norma P-EB-64 da ABNT.

2.18 Tubos Não-Metálicos

Fabricam-se tubos de uma grande variedade de materiais não-metálicos, dos quais os mais importantes são os seguintes:

1. *Materiais plásticos* — Para tubulações industriais é esse atualmente o grupo mais importante dos materiais não-metálicos; por essa razão veremos separadamente nos itens a seguir com mais detalhes.

2. *Cimento-amianto* — Os tubos de cimento-amianto (transite) são fabricados de argamassa de cimento e areia com armação de fibras de amianto. A resistência mecânica é pequena, só podendo ser usados para baixas pressões e onde não estejam sujeitos a grandes esforços externos. O cimento-amianto tem excelente resistência à atmosfera, ao solo, às águas neutras e alcalinas, à água salgada, aos álcalis, aos óleos e aos compostos orgânicos em geral. Para a maioria desses meios o material é completamente inerte, resistindo por tempo indefinido. Os ácidos, águas ácidas e soluções ácidas atacam fortemente o cimento-amianto, que não deve ser usado para esses serviços. O principal emprego dos tubos de cimento-amianto é para tubulações de esgotos. O custo desses tubos é bem menor do que de outros que os poderiam substituir, como, por exemplo, os de materiais plásticos ou de metais não-ferrosos.

Existem tubos de cimento-amianto com até 36″ de diâmetro, para pressões até 1,3 MPa (≅ 13 kg/cm²).

No Brasil fabricam-se tubos de cimento-amianto de dois tipos:

— Tubos de pressão, de 50 mm a 400 mm, nas classes 10, 15 e 20 para pressões de serviço de 0,5, 0,75 e 1 MPa (≅ 5, 7,5 e 10 kg/cm²), respectivamente, de acordo com a norma EB-109 da ABNT.
— Tubos de esgoto, de 50 mm a 500 mm, de tipo leve, para tubulações não enterradas, e tipo normal, para tubulações enterradas, todos para serviços sem pressão, de acordo com a norma EB-69 da ABNT.

3. *Concreto armado* — Os tubos de concreto armado são empregados principalmente para tubulações importantes (de grande diâmetro) de água e de esgoto. A resistência à corrosão é equivalente à dos tubos de cimento-amianto, sendo a resistência mecânica bem maior.

Os tubos de concreto armado são fabricados quase todos por fundição centrifugada e vibrada, com diâmetros a partir de 250 até 3500 mm, e com comprimentos geralmente de 1 a 2 m. Esses tubos estão padronizados na norma EB-103 da ABNT.

4. *Barro vidrado* — Os tubos de barro vidrado, também chamados de "manilhas", têm excelente resistência à corrosão, sendo inertes em relação ao solo, à atmosfera e à maioria dos fluidos corrosivos. A resistência mecânica é baixa, sendo entretanto um pouco melhor do que a dos tubos de cimento-amianto. As manilhas são empregadas quase exclusivamente para tubulações de esgoto e são fabricadas em comprimentos curtos (1 m aprox.) com diâmetros nominais de 50 a 500 mm, e com extremidades de ponta e bolsa. Os tubos de barro vidrado estão padronizados na norma EB-5 da ABNT.

5. *Vidro, Cerâmica* — São tubos de uso e de fabricação raros, empregados apenas em serviços especiais de alta corrosão ou quando se exija absoluta pureza do fluido circulante. O vidro é o material de melhor resistência que existe a todos os meios corrosivos. Os tubos de vidro e de cerâmica são empregados apenas em diâmetros pequenos, até 100 mm no máximo.

6. *Borrachas* — Fabricam-se todos os muitos tipos de borrachas, naturais e sintéticas, para várias faixas de pressões e temperaturas. A maioria dos tubos de borracha é flexível (mangueiras e mangotes), sendo empregados justamente quando se deseja essa propriedade. Para serviços severos, os tubos costumam ter reforço de uma ou várias lonas, vulcanizadas na borracha, e freqüentemente têm também armação de arame de aço enrolado em espiral.

Existem numerosas borrachas, naturais e sintéticas, que recebem o nome genérico de "elastômeros". Embora esses materiais tenham propriedades diferentes e freqüentemente específicas, têm todos, como característica principal, a extraordinária elasticidade, fazendo com que atinjam a ruptura com uma deformação elástica muito grande (300 a 700%), sem que haja deformações permanentes. Os limites de temperatura de serviço vão de −50°C até 60° a 100°C. Algumas borrachas são combustíveis, outras queimam-se lentamente.

Da mesma forma que os plásticos, a maioria das borrachas sofre uma deterioração em conseqüência de longa exposição à luz solar, tornando-se quebradiças. A adição de negro-de-fumo melhora a resistência à luz e aumenta também a resistência ao desgaste superficial.

A borracha natural resiste bem às águas (inclusive ácidas e alcalinas), aos ácidos diluídos, aos sais e a numerosos outros meios corrosivos. É atacada pelos produtos do petróleo e por vários solventes e compostos orgânicos. Dentre as borrachas sintéticas, são mais importantes o neoprene e o SBR (estireno-butadieno). O neoprene resiste aos produtos de petróleo. O SBR é uma borracha sintética econômica, de uso geral, com propriedades semelhantes à borracha natural.

Fabricam-se tubos de borracha até 400 mm de diâmetro nominal.

2.19 Tubos de Materiais Plásticos

Os materiais plásticos sintéticos são atualmente o grupo mais importante dos materiais não-metálicos utilizados em tubulações industriais. O emprego desses materiais tem crescido muito nos últimos anos, principalmente como substituto para os aços inoxidáveis e metais não-ferrosos. O aumento constante dos preços desses metais e o aperfeiçoamento contínuo dos plásticos tendem a tornar maior ainda a expansão do emprego desses últimos.

De um modo geral, os plásticos apresentam as seguintes vantagens:

- Pouco peso, densidade variando entre 0,9 e 2,2.
- Alta resistência à corrosão.
- Custo muito mais baixo, quando comparado com outros materiais de resistência à corrosão equivalente, como os aços inoxidáveis, ligas de níquel, titânio etc.
- Coeficiente de atrito muito baixo.
- Facilidades de fabricação e de manuseio (podem ser cortados com serrote).
- Baixa condutividade térmica e elétrica.
- Cor própria e permanente que dispensa pintura, dá boa aparência, e permite que se adotem códigos de cores para identificação das tubulações.
- Alguns plásticos podem ser translúcidos, permitindo a observação visual da circulação dos fluidos pelos tubos.

Em compensação, as desvantagens são as seguintes:

- Baixa resistência ao calor; essa é a maior desvantagem. Apesar dos grandes progressos que têm sido conseguidos, a maioria desses materiais não pode trabalhar em temperaturas superiores a 100°C.
- Baixa resistência mecânica; o limite de resistência à tração é da ordem de 20 a 100 MPa (≅ 2 a 10 kg/mm²) para a maioria dos plásticos. Alguns plásticos termoestáveis (veja a seguir), laminados em camadas sucessivas de resina plástica e de fibras de vidro, apresentam melhor resistência mecânica, embora sempre bem inferior à do aço-carbono.
- Pouca estabilidade dimensional, estando sujeitos a deformações por fluência em quaisquer temperaturas (cold-creep).
- Insegurança nas informações técnicas relativas a comportamento mecânico e a dados físicos e químicos. A margem de erro que se pode esperar nessas informações sobre os materiais plásticos é bem maior do que nas relativas aos metais.
- Alto coeficiente de dilatação, até 15 vezes o do aço-carbono.
- Alguns plásticos são combustíveis ou pelo menos capazes de alimentar vagarosamente a combustão.
- Alguns materiais plásticos não são impermeáveis (polietileno expandido, por exemplo), podendo absorver hidrocarbonetos líquidos leves, aumentando de volume e permitindo o vazamento. O emprego desses materiais exige geralmente o acréscimo de uma camisa externa de material estanque.

Distinguem-se duas classes gerais de plásticos: os termoplásticos (thermoplastics) e os termoestáveis (ther-

mosettings), também chamados de "termofixos". Os termoplásticos são polímeros de cadeia linear, e os termoestáveis são polímeros de cadeia ramificada. Os primeiros amolecem com o aumento de temperatura — até atingirem a fusão —, sem que ocorram reações químicas no material, e portanto sem que haja modificações nas suas propriedades, podendo assim o material ser refundido e reaproveitado. Com os termoestáveis, pelo contrário, um aquecimento capaz de amolecer suficientemente causará primeiro a quebra nas ligações moleculares ramificadas, degradando o material, que, por isso, não poderá ser conformado a quente ou reciclado.

De um modo geral, os plásticos resistem muito bem aos ácidos minerais diluídos, aos álcalis (mesmo quando quentes), aos halógenos, às soluções salinas e ácidas, à água salgada e a numerosos outros produtos químicos. Não há praticamente ataque algum com a atmosfera e a água. Os plásticos podem ser usados em contato direto com o solo, mesmo no caso de solos úmidos ou ácidos. Raramente há contaminação do fluido circulante; os plásticos não produzem resíduos tóxicos.

A maioria dos plásticos é atacada pelos ácidos minerais altamente concentrados. O comportamento em relação aos compostos orgânicos é variável: os hidrocarbonetos e os solventes orgânicos dissolvem alguns dos plásticos.

É importante observar que, de um modo geral, os materiais plásticos têm um comportamento quanto à corrosão inteiramente diferente dos metais, porque com os plásticos é muito rara a corrosão lenta e progressiva, característica dos metais. Por essa razão, ou o plástico resiste indefinidamente ao meio corrosivo, ou é por ele rapidamente atacado e destruído, não tendo portanto sentido a aplicação de margens para corrosão. A destruição dos materiais plásticos ocorre por dissolução ou por reação química direta.

Quase todos os plásticos sofrem um processo de decomposição lenta quando expostos por longo tempo à luz solar, em virtude da ação dos raios ultravioleta, tornando-se quebradiços (wheatering). A adição de pigmentos escuros ao plástico melhora bastante a sua resistência a esse efeito. Recomenda-se por isso que os plásticos que devam ficar permanentemente ao tempo tenham pigmento de negro-de-fumo.

Pelo seu conjunto de vantagens e desvantagens, os materiais plásticos são usados principalmente para serviços de temperatura ambiente ou moderada, e baixos esforços mecânicos, simultâneos com a necessidade de grande resistência à corrosão, ou de não-contaminação do fluido conduzido. Não podem ser empregados para tubulações cuja avaria ou destruição por um incêndio próximo possam causar graves prejuízos ou acidentes, ainda que essas tubulações trabalhem frias. É o caso, por exemplo, das redes de incêndio, por onde circula água fria.

Os materiais termoplásticos rígidos, e não-rígidos, são muito empregados para tubulações com diâmetros até 1,2 m, e também para revestimentos anticorrosivos, aplicados internamente em tubos de aço; os termoestáveis são empregados para tubulações de quaisquer diâmetros e para revestimentos anticorrosivos.

A norma ASME.B.31.3 proíbe o emprego de tubos de materiais termoplásticos e termoestáveis não-reforçados para serviços altamente cíclicos, e só permite o emprego para fluidos inflamáveis no caso de tubulações subterrâneas. Exceto para serviços dentro da "Categoria D", a mesma norma exige que esses tubos sejam mecanicamente protegidos de acidentes. Para os tubos de termoestáveis reforçados só é exigida a proteção mecânica contra acidentes para fluidos tóxicos ou inflamáveis.

2.20 Principais Materiais Plásticos para Tubulações

São os seguintes os plásticos mais importantes para tubulações:

1. *Polietileno* — É o mais leve e o mais barato dos materiais termoplásticos, tendo excelente resistência aos ácidos minerais, aos álcalis e aos sais. É um material combustível com fraca resistência mecânica, 20 a 35 MPa (≅ 2,0 a 3,5 kg/mm²), e cujos limites de temperatura vão de −30° a 80°C, dependendo da especificação. O polietileno é usado para tubos de baixo peso, para pressões moderadas. Distinguem-se três graus de material, denominados de baixa, média e alta densidade, sendo os últimos de melhor qualidade e maior resistência. No Brasil fabricam-se tubos flexíveis de ½" a 4", pela norma P-EB-195, e tubos rígidos de 110 a 1.200 mm, nas classes 2,5; 3,2; 4,0; 6,0 e 10,0 kg/cm².

2. *Cloreto de polivinil (PVC)* — É um dos termoplásticos de maior uso industrial. A resistência à corrosão é em geral equivalente à do polietileno, mas as qualidades mecânicas são sensivelmente melhores; a resistência à temperatura vai de −40 a 65°C. Embora esse material possa ser queimado, a chama formada extingue-se espontaneamente. Os tubos rígidos de PVC são muito empregados para tubulações de águas, esgotos, ácidos, álcalis e outros produtos corrosivos(*). A fabricação desses tubos no Brasil abrange os diâmetros de ⅜" a 300 mm, nas espessuras séries 40 e 80, com extremidades rosqueadas ou lisas, de acordo com a norma P-EB-183. Fabricam-se também aqui tubos de PVC rígidos, com revestimento externo em camadas sucessivas de resina poliéster e fibras de vidro enroladas (filament winding), de 25 a 400 mm de diâmetro, para serviços severos com fluidos corrosivos. Esses tubos são fabricados em duas classes de pressão (classe 20, para 1 MPA ≅ 10 kg/cm² e classe 32, para 1,6 MPa ≅ 16 kg/cm²), com extremidades lisas, com bolsas, ou com flanges integrais.

3. *Acrílico butadieno-estireno (ABS), Acetato de celulose* — São materiais termoplásticos de qualidades semelhantes às do PVC, usados para tubos rígidos de pequenos diâmetros. Ambos são materiais combustíveis.

(*) A queima do PVC desenvolve gases tóxicos, o que limita o seu emprego em muitos casos.

4. *Hidrocarbonetos fluorados* — Essa designação inclui um grupo de termoplásticos não-combustíveis, com excepcionais qualidades de resistência à corrosão e também ampla faixa de resistência à temperatura, desde −200° a 260°C. Esses materiais têm, entretanto, preço muito elevado e resistência mecânica bastante baixa, o que limita o uso apenas a tubos pequenos sem pressão. O mais comum desses plásticos é o PTFE (politetrafluoreteno), mais conhecido pelo nome comercial de "Teflon", muito empregado para revestimento de tubos de aço e para juntas em serviços de alta corrosão.

5. *Epóxi* — É um material termoestável de muito uso para tubos de grande diâmetro (até 900 mm), com extremidades lisas ou com flanges integrais. Os tubos têm a parede de construção laminada, em camadas sucessivas da resina plástica e de fibras de vidro enroladas, para melhorar a resistência mecânica (tubos denominados "FRP" — fiberglass reinforced plastic). O epóxi é um material plástico de muito boa resistência à corrosão, queima-se lentamente, e pode ser empregado em temperaturas até 150°C.

6. *Poliésteres, fenólicos* — Todos esses materiais são termoestáveis de características semelhantes às do epóxi. Os fenólicos podem trabalhar até 150°C, e os poliésteres até 93°C. Os tubos desses materiais têm também ampla faixa de diâmetros e construção laminada, com armação de fibras de vidro (tubos "FRP"). Essas resinas são também empregadas para reforçar externamente tubos de PVC, como já foi dito.

2.21 Tubos de Aço com Revestimentos Internos

Os revestimentos aplicados no interior de tubos de aço podem ter as seguintes finalidades:

— Revestimentos anticorrosivos, ou para evitar a contaminação do fluido contido.
— Revestimentos antiabrasivos e antierosivos.
— Revestimentos refratários (isolamento térmico interno).

Qualquer desses revestimentos pode ser empregado por uma ou mais das seguintes razões:

— Custo.
— Resistência mecânica.
— Possibilidade de fabricação.

O objetivo geral do emprego dos tubos com algum revestimento interno é sempre aliar as vantagens do baixo custo, boa resistência mecânica, boa soldabilidade e ampla disponibilidade do aço-carbono com as propriedades de resistência à corrosão, à abrasão ou às altas temperaturas do material de revestimento. Esse último é freqüentemente um material caro e às vezes também de baixa resistência mecânica, com o qual não seria econômico ou não seria possível fabricar o tubo no diâmetro desejado, ou para resistir à pressão de serviço.

É grande a variedade de revestimento, como já foi referido no Item 2.1.

A grande maioria dos revestimentos é aplicada no interior dos tubos depois de fabricados. Fazem exceção o revestimento de zinco (galvanização), que é aplicado durante a fabricação do tubo, e também alguns tubos fabricados com chapas cladeadas, em que o revestimento é aplicado na matéria-prima de fabricação. Existem no comércio tubos de aço-carbono com uma grande variedade de revestimentos internos anticorrosivos já aplicados: materiais plásticos, elastômeros, ebonite etc. Esses tubos podem ser fornecidos com ou sem flanges nas extremidades (veja Itens 3.5.2 e 3.13.4, no próximo capítulo), sendo que os tubos flangeados (carretéis), ainda que mais caros, devem ser preferidos para os serviços de alta corrosão, porque permitem maior garantia de continuidade do revestimento. Os flanges são geralmente do tipo "solto" (veja Item 3.6.6), devendo obrigatoriamente o revestimento estender-se pela face das virolas dos flanges. Esses tubos são fabricados em vários comprimentos fixos (até 4 m), e em diâmetros até 20".

Os tubos adquiridos sem revestimento podem ser revestidos no local da obra ou em oficinas, por vários montadores ou firmas especializadas.

O material metálico de revestimento mais comum é o zinco, empregado nos tubos galvanizados, para os quais várias especificações já foram citadas no Item 2.7. É um revestimento anticorrosivo barato, mas que só pode ser usado para serviços de baixa responsabilidade e corrosão moderada (água, água salgada, ar comprimido etc.), pelo fato de não permitir ligações soldadas entre os tubos, como será referido no Item 3.2.

Para alguns serviços de alta corrosão a solução poderá ser o emprego de tubos de chapa cladeada, principalmente para grandes diâmetros. Chapas cladeadas são chapas bimetálicas compostas de uma chapa-base, de aço-carbono, e uma chapa fina de revestimento (2 a 4 mm), geralmente de um aço inoxidável. Com essas chapas consegue-se uma interpenetração metalúrgica na interface bimetálica, de forma a tornar praticamente impossível destacar-se o revestimento da chapa-base. Os tubos devem ter um diâmetro mínimo de 200 mm, porque em todas as soldagens é sempre necessário fazer-se a solda pelos dois lados, sejam as soldas longitudinais de fabricação dos tubos, sejam as soldas circunferenciais de emenda.

Todos os materiais plásticos citados no Item 2.19 — e vários outros ainda — podem ser usados como material de revestimento, aproveitando-se as suas propriedades de resistência química, sendo empregados em tubulações para ácidos, álcalis, soluções salinas e outros produtos químicos agressivos, bem como para serviços em que seja necessário manter a pureza do fluido contido (produtos alimentares e farmacêuticos, água deionizada etc.). Em qualquer caso, os tubos com revestimento são empregados quando não é possível o uso de tubos de plásticos maciços, devido ao diâmetro, à pressão, ou às condições de segurança exigidas para a tubulação. Note-se que os tubos de

qualquer material plástico são vulneráveis a choques mecânicos, colisões etc., bem como a incêndios; por esse motivo esses tubos não podem ser admitidos, em muitos casos, para a condução de fluidos cujo possível vazamento deva ser evitado a todo custo por questões de segurança. Os revestimentos de plásticos são facilmente aplicáveis em tubos com diâmetros de 100 mm, ou maiores, sendo entretanto possível, em alguns casos, a sua aplicação para diâmetros desde 12 mm. Os principais materiais plásticos empregados para revestimento interno de tubos de aço são o PTFE (Teflon), e também o epóxi, os fenólicos e os poliuretanos.

Os elastômeros (borrachas) e a ebonite têm as mesmas aplicações dos revestimentos de plásticos, bem como as mesmas faixas de diâmetros de emprego. Os elastômeros são também usados como revestimentos antiabrasivos e antierosivos.

O concreto de cimento comum é um revestimento anti-corrosivo barato, empregado principalmente em tubulações para água salgada, em diâmetros de 80 mm, ou maiores. A camada de concreto é aplicada por centrifugação, e tem 4 a 10 mm de espessura. Em tubos de mais de 600 mm de diâmetro, deve-se soldar, por dentro dos tubos, uma tela metálica, que ficará embutida no concreto para evitar trincas e desprendimento de pedaços do revestimento.

Para alguns serviços em temperaturas muito elevadas, pode-se empregar tubos com revestimento de concreto refratário interno, de forma a manter a temperatura da parede metálica do tubo dentro da faixa permissível para o aço-carbono. A aplicação desses revestimentos só é possível em tubos com diâmetro mínimo de 600 mm, e exige sempre que haja uma armação metálica completa, de tela, grade ou chapa expandida, soldada à parede do tubo para reforçar e segurar o revestimento; voltaremos a esse assunto no Item 16.6. Existem concretos refratários para temperaturas até 1.800°C.

Os revestimentos de vidro e de porcelana são revestimentos caros, frágeis e de difícil aplicação e manuseio, que podem ser empregados para alguns serviços de alta corrosão ou exigência de absoluta pureza do fluido conduzido.

Para todos os serviços corrosivos é muito importante que o revestimento protetor seja perfeito e contínuo, isto é, não apresente defeitos locais (falhas, bolhas, arranhões etc.), bem como cubra, de forma contínua, toda superfície metálica exposta ao fluido corrosivo. Um pequeno defeito ou descontinuidade que haja será um ponto de corrosão localizada, que poderá causar à perfuração da parede metálica do tubo mais rapidamente do que a corrosão generalizada que haveria se o tubo não tivesse revestimento algum. Por isso, em serviços de responsabilidade ou de alta corrosão, recomenda-se que sejam tomadas todas as providências cabíveis para garantir a perfeição e continuidade do revestimento. Com os revestimentos de concreto é impossível garantir-se que não se formem trincas no revestimento, porque a resistência à tração de todos os concretos é muito baixa, e assim a própria expansão diametral dos tubos devido à pressão, ou quaisquer movimentos ou deformações nos tubos, poderá causar essas trincas. Por esse motivo, não se recomenda o revestimento de concreto para serviços de alta corrosão, ou de grande responsabilidade, apesar do baixo custo e boa resistência à corrosão do concreto a muitos meios agressivos.

3

MEIOS DE LIGAÇÃO DE TUBOS

3.1 MEIOS DE LIGAÇÃO DE TUBOS

Os diversos meios, usados para conectar tubos, servem não só para ligar as varas de tubos entre si, como também para ligar os tubos às válvulas, às conexões e demais acessórios de tubulação, e aos equipamentos (tanques, bombas, vasos etc.).

Os principais meios de ligação de tubos são os seguintes:

— Ligações rosqueadas (screwed joints).
— Ligações soldadas (welded joints).
— Ligações flangeadas (flanged joints).
— Ligações de ponta e bolsa (bell and spigot joints).
— Outros sistemas de ligação: ligações de compressão, ligações patenteadas etc.

Vários outros tipos existem de ligações de tubos. A escolha do meio de ligação a usar depende de muitos fatores entre os quais: material e diâmetro da tubulação, finalidade e localização da ligação, custo, grau de segurança exigido, pressão e temperatura de trabalho, fluido contido, necessidade ou não de desmontagem, existência ou não de revestimento interno nos tubos etc. Em todas as tubulações existem sempre — ou quase sempre — três classes de ligações:

— Ligações correntes de emenda entre dois tubos.
— Ligações entre um tubo e uma conexão de tubulação (curva, joelho, tê, redução etc. Ver Cap. 5), ou entre duas conexões.
— Ligações extremas da tubulação, onde a tubulação se liga a um equipamento ou a uma máquina (tanque, vaso, filtro, bomba, compressor etc .), ou ligações da tubulação com peças desmontáveis (válvulas, purgadores de vapor etc.) da própria tubulação.

Para as ligações das duas primeiras classes acima, que são sempre em grande número, o que se deseja principalmente — além da segurança contra vazamentos —, é o baixo custo e a facilidade de execução. Para as ligações da última classe, é desejável que sejam facilmente desmontáveis para facilitar os trabalhos de manutenção — ou de remoção — do equipamento ou da máquina quando necessário. Exceto nos raros casos de tubulações para fluidos muito viscosos ou muito sujos, deixando sedimentos ou incrustações — necessitando assim periodicamente de limpeza interna —, não é usual que seja prevista a desmontagem da própria tubulação. Por isso, é raramente necessário que sejam desmontáveis as ligações das duas primeiras classes. Note-se que qualquer ligação desmontável é sempre bem mais cara e menos segura contra vazamentos do que as não desmontáveis. Todas as ligações, de qualquer classe, devem ser evidentemente compatíveis com o material, o diâmetro e a espessura dos tubos, e por isso tem-se, quase sempre, para um mesmo serviço, dois sistemas diferentes de ligação, um para tubos de pequeno diâmetro, e outro para tubos de grande diâmetro.

No Cap. 8 deste livro vamos ver exemplos de especificação de meios de ligação para alguns serviços mais comuns na prática, juntamente com a seleção e especificação dos tubos, conexões, válvulas etc.

3.2 LIGAÇÕES ROSQUEADAS

As ligações rosqueadas são um dos mais antigos meios de ligação usados para tubos. Em tubos de pequeno diâmetro essas ligações são de baixo custo e de fácil execução; o diâmetro nominal máximo de uso corrente é de 2″, embora haja fabricação de tubos com extremidades rosqueadas e de peças de ligação até 4″, ou maiores ainda.

Para a ligação das varas de tubo entre si empregam-se dois tipos de peças, as luvas e as uniões (Fig. 3.1), todas

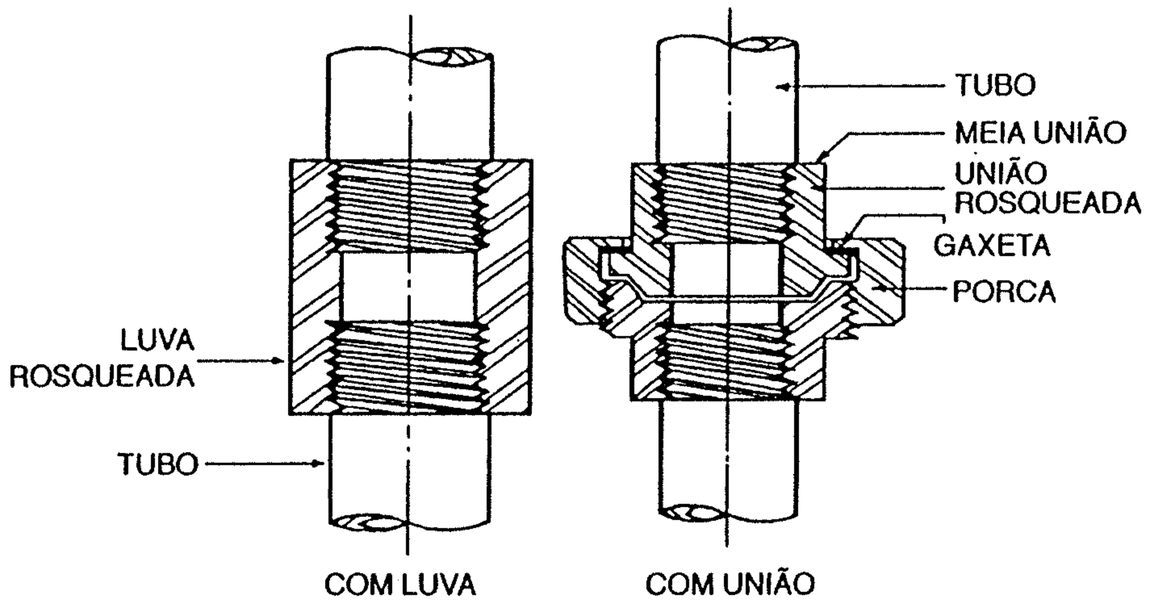


Fig. 3.1 Ligações rosqueadas de tubos.

com rosca interna para acoplar com a rosca externa da extremidade dos tubos.

As roscas, tanto dos tubos como das luvas e uniões, são cônicas, de maneira que, com o aperto, há interferência entre os fios das roscas, garantindo a vedação. Para auxiliar a vedação usam-se fitas adesivas que são enroladas sobre as roscas externas.

As uniões são empregadas quando se deseja que a ligação seja facilmente desmontável, ou em arranjos fechados, onde sem a existência de uniões o rosqueamento seria impossível. A vedação entre as duas meias uniões é conseguida por meio de uma gaxeta que é comprimida com o aperto da porca, ou por meio de sedes metálicas integrais, cuidadosamente usinadas, em ambas as meias uniões. Emprega-se esse último sistema em uniões de boa qualidade para altas temperaturas.

O rosqueamento enfraquece sempre a parede dos tubos; por essa razão, quando há ligações rosqueadas usam-se sempre tubos de parede espessa (série 80, no mínimo).

As ligações rosqueadas são as únicas usadas para tubos galvanizados, tanto de aço como de ferro forjado, porque a soldagem em material galvanizado sempre apresentará defeitos, sendo proibida por algumas normas de projeto. Empregam-se também ligações rosqueadas, embora não exclusivamente em tubos de aço-carbono, aços-liga, ferro fundido e materiais plásticos, sempre limitadas até o diâmetro nominal de 4″. Para tubos de aços inoxidáveis e de metais não-ferrosos, o rosqueamento é muito raro, devido às paredes finas que geralmente têm os tubos desses materiais.

As principais normas americanas para roscas de tubos são a ASME. B. 1.20.1 e a API.5.B (rosca NPT).

De acordo com a norma ASME. B.31.3, as ligações rosqueadas podem ser empregadas somente para tubulações até o diâmetro nominal de 2″, e em serviços que não sejam fortemente cíclicos nem muito corrosivos, em particular quando sujeitos à corrosão sob contato (crevice corrosion). A norma recomenda ainda que o projeto da tubulação seja feito de forma que as ligações rosqueadas não fiquem sujeitas a grandes esforços, e que não existam momentos tendentes a desatarraxar as roscas. Permitem-se entretanto ligações rosqueadas para diâmetro nominal acima de 2″, em tubulações de baixa responsabilidade, enquadradas na "Categoria D", da norma ASME. B.31.3 (veja Item 2.7). Exceto para tubulações de "Categoria D", é exigida a espessura mínima série 80, para diâmetros até 1½″ e série 40, para diâmetros maiores. Para materiais termoplásticos, a espessura mínima deve ser série 80, em qualquer diâmetro.

Essa mesma norma exige que as roscas dos tubos sejam cônicas, e recomenda-se que sejam feitas soldas de vedação nas roscas dos tubos que trabalham com fluidos inflamáveis, tóxicos, e outros em que se deva ter maior segurança contra vazamentos. Quando são feitas soldas de vedação, não deve ser empregado nenhum composto vedante nas roscas.

Embora permitidas pelas normas em muitos casos — como acima descrito —, as ligações rosqueadas são muito raras em tubulações de aço (veja Item 3.14), limitando-se na prática, com poucas exceções, às tubulações de pequeno diâmetro, em serviços de baixa responsabilidade (veja Item 3.14), tais como água, ar comprimido, condensado etc. A principal razão dessa limitação de emprego é o fato de qualquer ligação rosqueada sempre representar um ponto fraco na tubulação, com resistência bem menor do que o próprio tubo, sendo assim sempre um possível ponto de vazamento.

3.3 Ligações Soldadas

Em tubulações industriais, a maior parte das ligações é soldada, com solda por fusão (welding), com adição de eletrodo, de dois tipos principais:

— solda de topo (butt-welding);
— solda de encaixe (socket-welding).

Essas ligações têm as seguintes vantagens:

— Resistência mecânica boa (quase sempre equivalente à do tubo inteiro).
— Estanqueidade perfeita e permanente.
— Boa aparência.
— Facilidades na aplicação de isolamento térmico e de pintura.
— Nenhuma necessidade de manutenção.

As principais desvantagens, pouco importantes na maioria dos casos, são a dificuldade de desmontagem da tubulação, a necessidade de mão-de-obra especializada para a sua execução, e o fato de a operação de soldagem ser um "trabalho a quente", o que pode exigir cuidados especiais de segurança em ambientes com combustíveis, inflamáveis ou explosivos.

A norma ASME.B.31.3 permite o emprego de ligações soldadas, sem restrições quanto ao serviço, à pres-

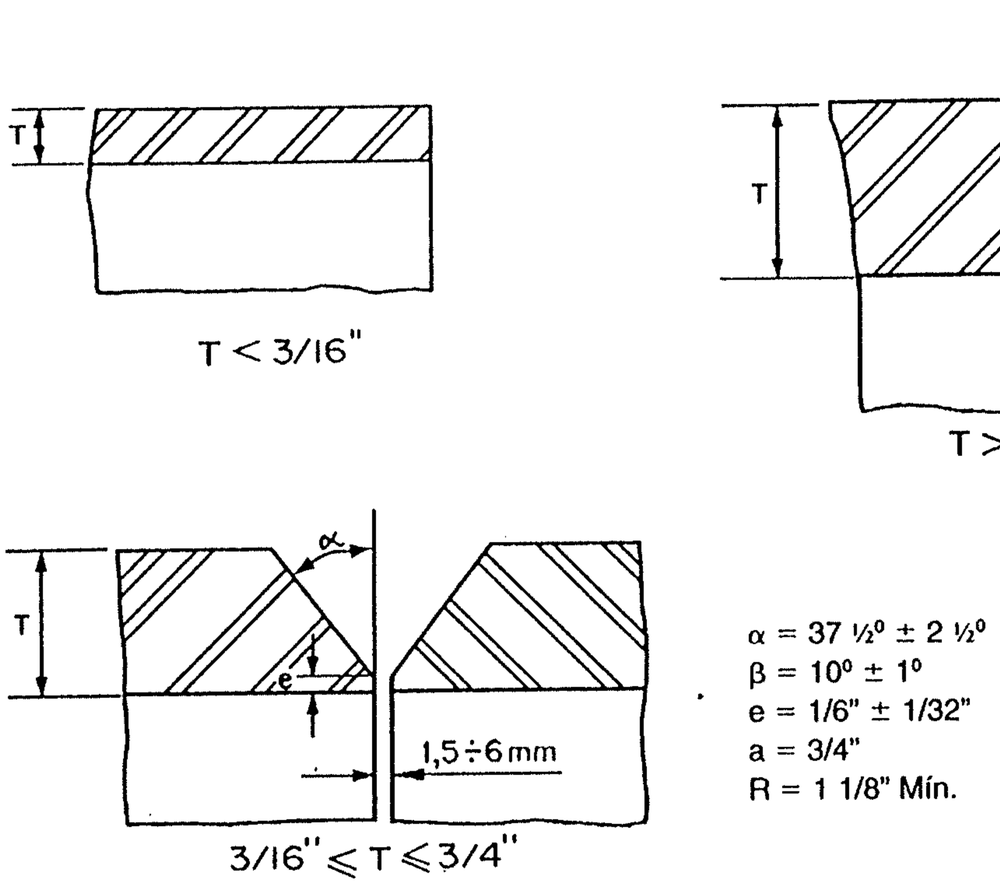


Fig. 3.2 Chanfros para solda de topo de tubos.

são ou à temperatura, em tubos de qualquer material metálico para o qual seja possível qualificar devidamente um procedimento de soldagem aceitável, o que inclui praticamente todos os materiais metálicos listados no Item 2.1, com exceção dos ferros fundidos. Como já foi observado, as ligações soldadas — ou quaisquer outras soldas — também não são possíveis em materiais galvanizados.

3.4 Solda de Topo e Solda de Encaixe

1. *Solda de topo* — A solda de topo é o sistema mais usado para as ligações entre tubos de 2″, ou maiores, em tubulações de qualquer tipo de aço: aços-carbono, aços-liga e aços inoxidáveis. Pode ser empregada em toda a faixa usual de pressões e de temperaturas, inclusive para serviços severos, sendo por isso o sistema de ligação mais empregado para tubulações de 2″ ou maiores, em indústrias de processo. Excepcionalmente, a solda de topo poderá ser empregada mesmo em diâmetros menores (1″ ou acima), quando for exigida total segurança contra vazamentos, como por exemplo em serviço com hidrogênio (veja Item 8.10).

Os tubos e demais acessórios para uso com solda de topo devem ter as extremidades com chanfros para solda, de acordo com os padrões da norma ASME.B.16.25 ou de outras normas. De acordo com a ASME.B.16.25, os tubos com espessura de parede até 3/16″, devem ter as pontas lisas e esquadrejadas [Fig. 3.2(*a*)]; os tubos com espessura de parede entre 3/16″ e 3/4″, devem ter chanfro em "V" com ângulo incluso de 75° [Fig. 3.2(*b*)]; finalmente, para tubos com espessura de parede superior a 3/4″, o chanfro deve ser em "J" duplo [Fig. 3.2(*c*)]. A grande maioria dos tubos de uso corrente tem espessuras entre 3/16″ e 3/4″, empregando-se assim o chanfro da Fig. 3.2(*b*); os outros chanfros são casos de exceção bastante raros. Em qualquer caso, a fresta (abertura de raiz da solda) dependerá da espessura da parede e do diâmetro do tubo, variando entre 1,5 mm e 6 mm.

A norma ASME.B.31.3 contém numerosas recomendações sobre soldagem de tubos, incluindo seqüência de soldagem, tratamentos térmicos, qualificação de soldadores, testes de inspeção e aceitação etc. Voltaremos a este assunto no Cap. 15.

As ligações de solda de topo são também empregadas em tubos de metais não-ferrosos soldáveis (na mesma faixa de diâmetros dos tubos de aço), usando-se solda elétrica e consumíveis do mesmo material dos tubos. Podem ainda ser usadas em tubos de materiais termoplásticos; nesse caso, a soldagem é feita simplesmente pela pressão de uma parte a soldar contra a outra, ambas previamente aquecidas, sem qualquer material de adição.

2. *Solda de encaixe (ou de soquete)* — Esse tipo de ligações soldadas é usado na maioria dos tubos industriais com diâmetros até 1½″ inclusive, em toda faixa usual de pressões e de temperaturas, para tubos

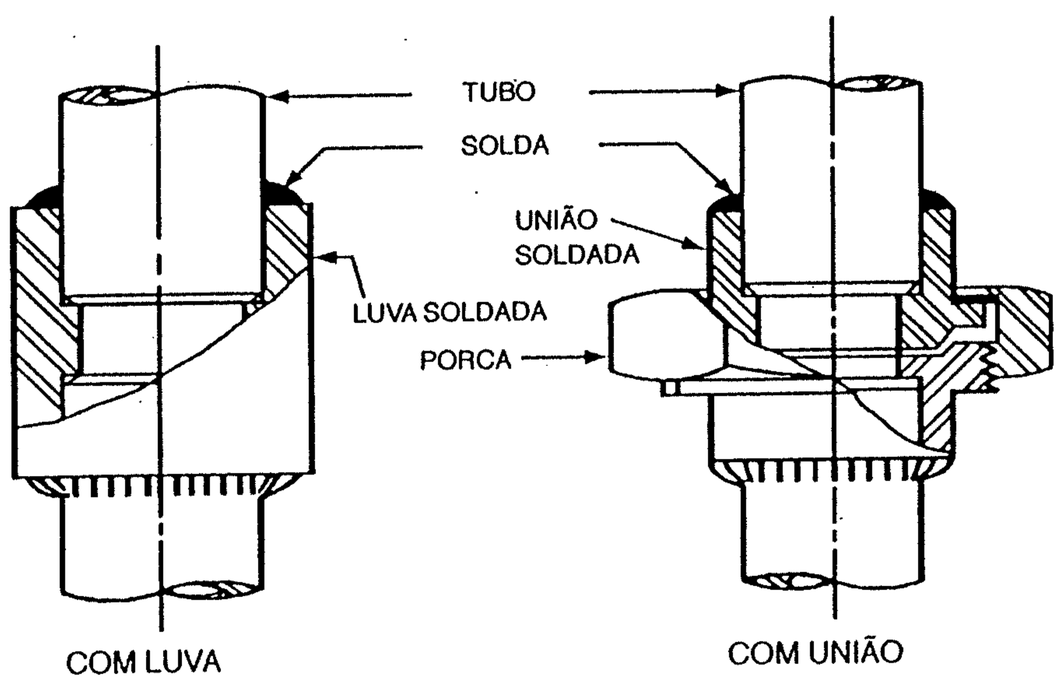


Fig. 3.3 Ligações de solda de encaixe para tubos.

de aço de qualquer tipo. A solda de encaixe é empregada também, embora não exclusivamente, em tubos de 4″, de metais não-ferrosos e de plásticos.

As varas de tubo são ligadas umas às outras por meio de luva ou de uniões (Fig. 3.3) semelhantes às peças usadas nas ligações rosqueadas. As uniões são empregadas quando se deseja facilidade de desmontagem. Os tubos são soldados nas luvas ou uniões com um único cordão externo de solda em ângulo (solda de filete); para isso, as extremidades dos tubos devem ser lisas, tendo as luvas e as uniões rebaixos onde se encaixam os tubos. Veja a Fig. 15.5, no Cap. 15, para as exigências dimensionais da norma ASME B.31 para as soldas de encaixe.

Para tubulações de qualquer tipo de aço emprega-se sempre solda elétrica, com consumíveis do mesmo material dos tubos. Para metais não-ferrosos pode-se empregar solda elétrica — com consumíveis do mesmo material dos tubos — ou brasagem, com consumíveis de ligas de baixo ponto de fusão; esse último sistema é de pequena resistência mecânica, sendo somente por isso aceitável para tubulações de baixa responsabilidade (baixa pressão, temperatura ambiente). É importante que todas as luvas e uniões sejam do mesmo material dos tubos, para evitar soldas dissimilares, que são sempre indesejáveis(*). Em tubulações de materiais termoplásticos pode-se soldar pelo aquecimento e compressão, ou com o uso de adesivos apropriados, sendo esse último sistema também empregado em materiais termoestáveis.

A norma ASME.B.31.3 recomenda que não se empregue solda de encaixe em serviços de alta corrosão ou erosão, e proíbe esse tipo de ligações, em diâmetros acima de 1½″, para serviços fortemente cíclicos. A solda de encaixe também não deve ser empregada em tubulações para serviço com hidrogênio (veja Item 8.10).

3.5 Ligações Flangeadas

Uma ligação flangeada é composta de dois flanges, um jogo de parafusos ou estojos com porcas e uma junta de vedação (Fig. 3.4).

As ligações flangeadas, que são facilmente desmontáveis, empregam-se principalmente para tubos de 2″ ou maiores, em dois casos específicos:

1. Para ligar os tubos com as válvulas e os equipamentos (bombas, compressores, tanques, vasos etc.), e também, às vezes, em determinados pontos, no correr da tubulação, onde seja necessária facilidade de desmontagem, nas tubulações em que, para ligar uma vara na outra, sejam usados normalmente outros tipos de ligação: solda, rosca, ponta e bolsa etc. Estão incluídas neste caso todas

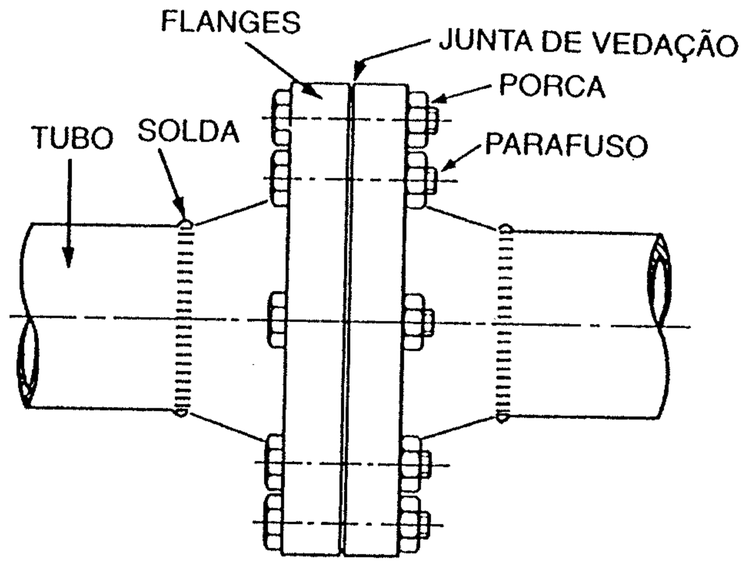


Fig. 3.4 Ligação flangeada entre tubos.

as tubulações de aço (qualquer tipo de aço), ferro forjado, metais não-ferrosos e grande parte das tubulações de plásticos, onde se empregam normalmente as ligações de solda ou de rosca. Incluem-se também a maioria das tubulações de ferro fundido, cujas varas de tubo são usualmente ligadas com ponta e bolsa, como veremos adiante.

2. Para a ligação corrente de um tubo no outro, em dois casos:

— Tubulações de aço que possuam revestimento interno anticorrosivo. Para essas tubulações, as ligações flangeadas, ainda que caras, podem ser a melhor solução — principalmente em serviços de alta corrosão —, porque permitem a perfeita continuidade do revestimento, desde que este se estenda também sobre as faces dos flanges. (Veja Item 15.9, Cap. 15.)

— Algumas tubulações de aço, e também de ferro fundido e de plásticos laminados, em diâmetros de 2″ ou maiores, nos casos em que seja necessária a desmontagem da tubulação para a limpeza interna, devido a fluidos muito sujos ou que deixem sedimentos ou incrustações.

Como regra geral, em qualquer caso, as ligações flangeadas devem ser usadas no menor número possível, porque são sempre pontos de possíveis vazamentos, e também porque são peças caras, pesadas e volumosas.

Os flanges podem ser integrais com o tubo, ou independentes, soldados ou rosqueados ao tubo. Os flanges de válvulas, bombas, compressores, turbinas e outras máquinas são quase sempre integrais com esses equipamentos.

Embora a série padronizada de flanges de aço da norma americana ASME.B.16.5 abranja diâmetros nominais desde 1/2″ ϕ até 24″ ϕ, os flanges menores do que 1½″ são pouco usados.

3.6 Tipos de Flanges para Tubos

Os tipos mais usuais de flanges são os descritos a seguir.

1. *Flange integral* [Fig. 3.5 (*a*)] — Os flanges integrais com os tubos são usados apenas em alguns casos raros de tubulações de ferro fundido ou de alguns plásticos laminados, sempre para diâmetros de 2″, ou maiores. É o tipo mais antigo de flange e também o que é proporcionalmente mais resistente.

(*) Na dificuldade — ou impossibilidade — de conseguir somente soldas entre materiais iguais, podem ser admitidas soldas entre materiais diferentes mas que tenham o mesmo "Número P" (P-Number), como definido na norma ASME B.31. (Veja Tabelas 15.1 e 15.2, no Cap. 15).

2. *Flange de pescoço* (welding-neck — WN) [Fig. 3.5 (*b*)] — É o tipo de flange mais usado em tubulações industriais para quaisquer pressões e temperaturas, para diâmetros de 2″, ou maiores. De todos os flanges não-integrais é o mais resistente, com melhor transmissão de esforços do flange para o tubo, que permite melhor aperto, e que dá origem a menores tensões residuais em conseqüência da soldagem e das diferenças de temperatura.

Este flange é ligado ao tubo por uma única solda de topo, sem descontinuidades que facilitem a concentração de esforços ou a corrosão.

A montagem com esses flanges é mais cara porque cada pedaço de tubo deve ter os extremos chanfrados para solda, e tem de ser cortado na medida certa, com muito pequena tolerância no comprimento.

3. *Flange sobreposto* (slip-on — SO) [Fig. 3.5 (*c*)] — É um flange mais barato e mais fácil de se instalar do que o anterior, porque a ponta do tubo encaixa no flange, facilitando o alinhamento e evitando a necessidade do corte do tubo na medida exata. O flange é ligado ao tubo por duas soldas em ângulo, uma interna e outra externa.

Esse flange só pode ser usado para tubulações em serviços não severos, porque o aperto permissível é bem menor, as tensões residuais são elevadas e as descontinuidades de seção dão origem à concentração de esforços e facilitam a erosão e a corrosão. De acordo com a norma ASME.B.31.3, esses flanges não são permitidos para as tubulações de "Categoria M" (veja Item 2.7), nem para serviços altamente cíclicos (veja Item 2.15); não devem também ser empregados em tubulações para serviços com hidrogênio (veja Item 8.10). São ainda desaconselhados para quaisquer tubulações de classe de pressão 600#, ou acima, (veja Item 3.8), em serviços sujeitos a grandes variações de temperatura, ou em serviços sujeitos a corrosão em frestas (crevice corrosion). A norma ASME.B.31.1, para tubulações em centrais de vapor, só permite o emprego desses flanges em linhas de vapor, até o diâmetro nominal de 4″.

Os flanges sobrepostos são sempre pontos fracos na tubulação, porque a sua resistência mecânica é inferior à do próprio tubo. Essa mesma observação aplica-se também a todos os outros tipos de flanges citados a seguir, exceto os flanges tipo anel.

4. *Flange rosqueado* (screwed — SCR) [Fig. 3.5 (*d*)] — Em tubulações industriais esses flanges são usados apenas para tubulações de metais não-soldáveis (ferro fundido, aço galvanizado, ferro galvanizado etc.), e para algumas tubulações de materiais não-metálicos, como os materiais plásticos. Empregam-se também para tubulações secundárias (água, ar comprimido etc.), de aço e de ferro forjado, e em redes prediais.

A norma ASME.B.31.3 recomenda que sejam feitas soldas de vedação entre o flange e o tubo, quando em serviços com fluidos inflamáveis, tóxicos ou perigosos de modo geral, embora não seja usual o emprego de flanges — ou qualquer outra peça — rosqueados em tais serviços.

O aperto permissível com esses flanges é pequeno, as tensões desenvolvidas são elevadas e a rosca age como um intensificador de tensões e também como uma permanente causa de vazamento.

5. *Flange de encaixe* (socket-weld — SW) [Fig. 3.5 (*e*)] — Esse flange é semelhante ao sobreposto, porém é mais resistente e tem um encaixe completo para a ponta do tubo, dispensando-se por isso a solda interna. É o tipo de flange usado para a maioria das tubulações de qualquer tipo de aço, em pequeno diâmetro, até 1½″. Por causa da descontinuidade interna não se recomendam esses flanges para serviços sujeitos a corrosão em frestas.

6. *Flange solto* (lap-joint) [Fig. 3.5 (*f*)] — Esses flanges, que são também chamados de "*van Stone*", não ficam, como os demais, presos à tubulação, e sim soltos, capazes de deslizar livremente sobre o tubo. Quando se empregam esses flanges, solda-se a topo na extremidade do tubo uma

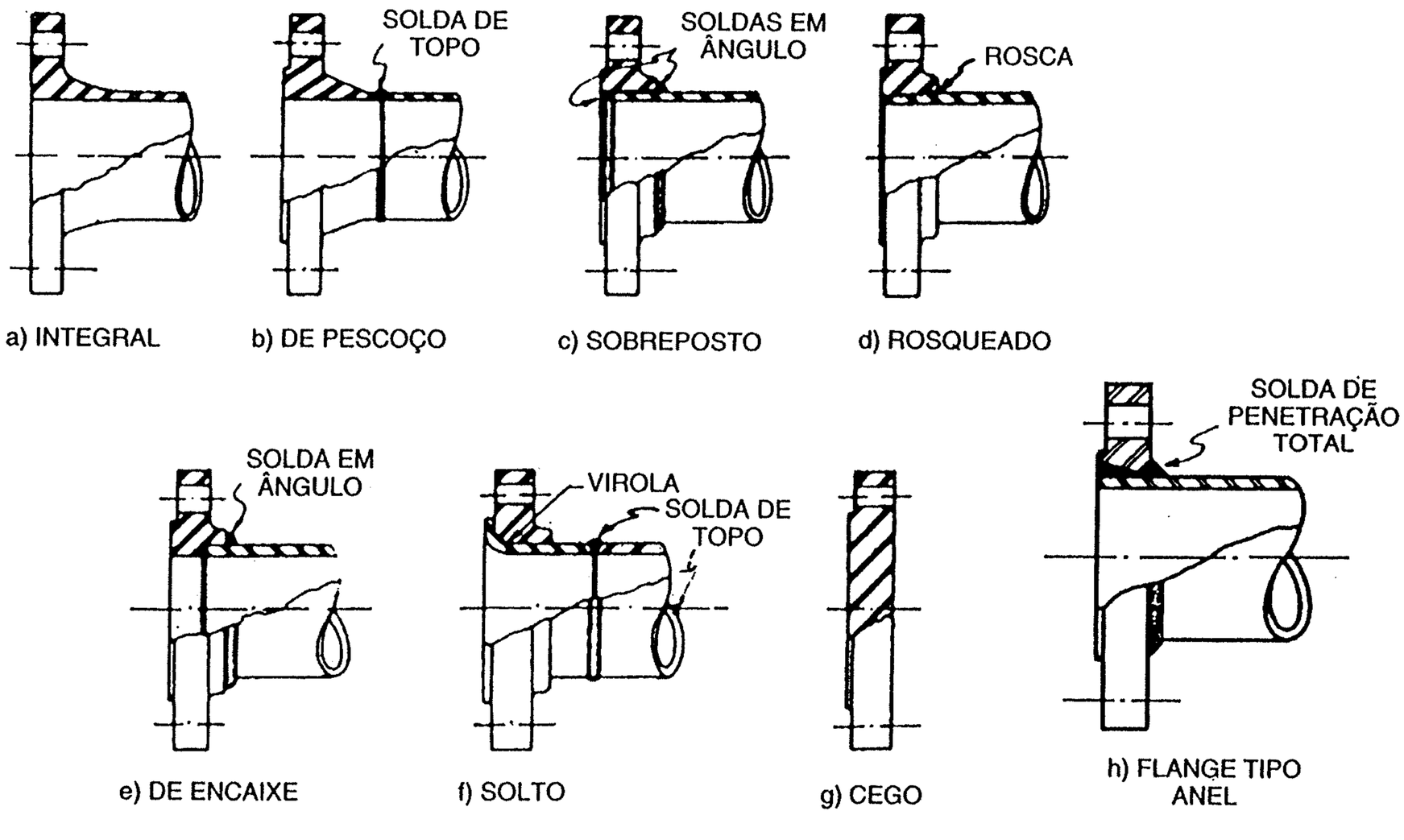


Fig. 3.5 Tipos de flanges para tubos.

peça especial denominada "pestana", ou "virola" (stub-end), que servirá de batente para o flange.

A vantagem desses flanges é o fato de ficarem completamente fora do contato com o fluido circulante, sendo por isso empregados em algumas tubulações que exijam tubos de materiais caros especiais, tais como aços inoxidáveis, ligas de Ni etc., bem como em tubos com revestimentos internos. Para todos esses serviços, os flanges podem ser de material barato, como ferro ou aço carbo-

[redacted]

ser de outro material se assim for conveniente ou econômico.

3.7 Faceamento dos Flanges

A face de assentamento dos flanges pode ser de vários tipos e com diferentes acabamentos, dos quais os mais usuais são os descritos a seguir:

[redacted]

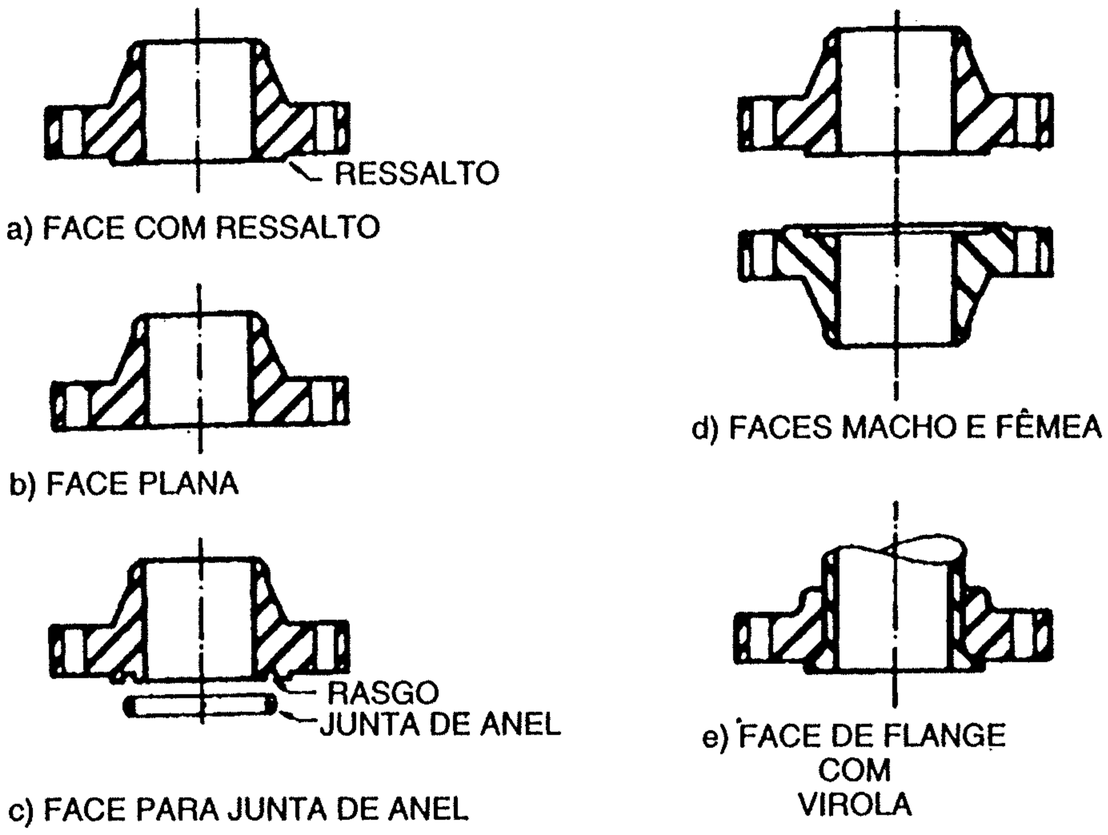


Fig. 3.6 Tipos de faceamentos de flanges.

só devido à ação de cunha da junta de anel nos rasgos dos flanges como, também, porque a pressão interna tende a dilatar a junta de anel apertando-a contra a parede do rasgo. Os flanges para junta de anel garantem também melhor vedação em serviços com grandes variações de temperatura.

A dureza da face dos flanges deve ser sempre superior à do anel metálico da junta, recomendando-se os seguintes valores mínimos, de acordo com o material:

— aço-carbono: 120 Brinell;
— aços de baixa liga e aços inoxidáveis tipo 304, 316, 347 e 321: 160 Brinell.
— aços inoxidáveis tipos 304L e 316L: 140 Brinell.

4. *Face de macho e fêmea* (male & female) [Fig. 3.6 (*d*)]. *Face de lingüeta e ranhura* (tongue & groove) — Esses faceamentos, bem mais raros do que os anteriores, são usados para serviços especiais com fluidos corrosivos, porque neles a junta está confinada, não havendo quase contato da mesma com o fluido. Note que, com esses faceamentos, os flanges que se acoplam entre si são diferentes um do outro.

5. *Face de flange com virola* [Fig. 3.6 (*e*)] — Esse tipo de face aplica-se somente aos flanges soltos, que trabalham em conjunto com uma virola [Fig. 3.5 (*f*)]. A face do flange deve ter a borda interna arredondada e não precisa ter acabamento fino, porque o assentamento da junta de vedação fica na face da virola, e não do flange. O acabamento da face da virola deve ser como descrito para os flanges de face com ressalto, dependendo do tipo de junta adotada.

3.8 Fabricação, Materiais e Normalização de Flanges de Aço — Classes de Pressão Nominal

Idealmente todos os flanges deveriam ser de construção forjada, que é o melhor sistema de construção. Na prática, devido ao alto custo e à dificuldade de obtenção no Brasil de forjados grandes, podem-se permitir as seguintes alternativas para os flanges de 10″-12″, ou maiores:

— Flanges de pescoço:

• Fabricação a partir de barras laminadas de aço (de seção quadrada ou retangular), ou de barras cortadas, no sentido longitudinal, de chapas grossas. Pelo parágrafo 2-2, o código ASME, Seção VIII, Divisão 1, exige que as barras sejam conformadas em anel, as extremidades sejam soldadas a topo (para formar um anel fechado), e que as faces da chapa original resultem paralelas ao eixo do flange acabado; não é necessário, entretanto, que a superfície original da chapa esteja presente no flange acabado. O anel formado é depois usinado para a obtenção do perfil do flange, devendo haver cuidadosa inspeção com líquido penetrante na região interna de junção do pescoço com o disco do flange. Deve haver inspeção radiográfica da solda e tratamento térmico, como exigido pelas normas, de acordo com o material e a espessura.

• Fabricação a partir de anéis de aço, sem costura, rolados e laminados a quente. Esses anéis são obtidos a partir de tarugos cilíndricos, e são depois usinados para conseguir o perfil do flange.

— Flanges sem pescoço (sobrepostos e de tipo anel):

Esses flanges podem ser fabricados por qualquer dos sistemas acima indicados, e também a partir de anéis, ou de segmentos circulares de anéis, recortados diretamente de chapas grossas. Os segmentos de anéis são soldados entre si para a formação de um anel completo, sendo o anel depois devidamente usinado.

O emprego de flanges de aço fundido é desaconselhado para quaisquer tubulações.

Para os flanges de aço forjado, são as seguintes as principais especificações de material da ASTM:

A-181: Flanges forjados de aço-carbono para uso geral.
A-105: Idem, de aço-carbono acalmado com Si, para temperaturas elevadas.
A-182: Idem, de aços-liga Mo, Cr-Mo e de aços inoxidáveis.
A-350: Idem, de aço-carbono e de aços-liga Ni para baixas temperaturas.

Os flanges de quaisquer dos tipos citados no Item 3.6 (exceto os flanges de tipo anel), são quase sempre peças compradas prontas, de dimensões normalizadas, para as quais existem várias normas dimensionais que estabelecem não somente todas as dimensões para cada tipo e cada diâmetro nominal, como também as pressões admissíveis, em função da temperatura, para cada material. É importante observar que todos os flanges são sempre designados pelo diâmetro nominal do tubo a que se destinam: assim, um flange de 8″ significa um flange apropriado pa-

ra tubos de 8″ de diâmetro nominal. Essa mesma observação aplica-se a *todos* os demais acessórios e componentes de tubulações, conexões, válvulas, juntas de expansão, purgadores de vapor etc., e por isso não vamos mais repeti-la aqui. A norma dimensional de uso mais generalizado aqui no Brasil é a ASME.B.16.5 (do "American National Standards Institute"), que abrange flanges de aço forjado (aços-carbono, aços-liga e inoxidáveis), de todos os tipos, nos diâmtros nominais até 24″. Essa norma define sete séries de flanges, denominadas de "classes de pressão" (*ratings*) e designadas pelos números adimensionais 150#, 300#, 400#, 600#, 900#, 1.500# e 2.500#(*). Essas sete classes de pressão nominal abrangem todos os tipos de flanges, desde o diâmetro nominal 1/2″ até 24″, com as seguintes exceções:

— A classe 2.500# só vai até o diâmetro 12″.
— Os flanges de encaixe só são fabricados nas classes 150# a 600#.
— Os flanges rosqueados da classe 1.500# só vão até 12″ de diâmetro.
— Os flanges de diâmetros nominais de 3″, ou menores da classe 400#, são iguais aos da classe 600#, e os flanges de diâmetros nominais de 2½″, os menores, da classe 900#, são iguais aos da classe 1.500#.

Para cada uma dessas classes de pressão tem-se, para cada material, uma curva de interdependência entre a pressão admissível e a temperatura(**). Todos os flanges de mesma classe de pressão e de mesmo material obedecem à mesma curva pressão/temperatura, qualquer que seja o seu tipo ou o seu diâmetro. Observe-se, entretanto, que as curvas da mesma classe de pressão, correspondentes a materiais diferentes, podem variar bastante, de acordo com a variação da resistência mecânica de cada material em função da temperatura. A Fig. 3.7 mostra, como exemplo, as curvas para os flanges das classes 150#, 300# e 600#, de aço-carbono do grupo 1.1, o que inclui, entre outras, as seguintes especificações de material da ASTM: forjados: A-105 e A-350 Gr LF2; chapas: A-515 Gr 70 e A-516 Gr 70(*).

A norma ASME.B.16.5 (assim como as outras normas dimensionais de flanges) estabelece, para cada diâmetro nominal e cada classe de pressão, todas as dimensões dos flanges: diâmetros interno e externo, comprimento, espessura, círculo de furação, número e diâmetro dos parafusos etc. Desta forma, todos os flanges de mesmo diâmetro nominal e mesma classe de pressão terão todas suas dimensões exatamente iguais e se adaptarão ao mesmo tubo; terão, entretanto, pressões admissíveis diferentes para a mesma temperatura, se forem de materiais diferentes.

Na prática, em cada caso, a seleção do flange normalizado adequado a cada aplicação é feita simplesmente pela consulta a essas curvas das normas, em função do material do flange e da temperatura e pressão de projeto da tubulação. Note-se que a pressão admissível das normas de flanges referem-se exclusivamente ao esforço de pressão. No caso de flanges submetidos também a outros carregamentos simultâneos (peso da tubulação, reações de dilatação etc.), deverá ser feita uma verificação da resistência do flange, quando essas cargas forem consideráveis. Um erro comum que se observa na prática é considerar o número que designa a classe de pressão (às vezes expresso em unidades de pressão) como sendo a própria pressão admissível do flange. De fato, a pressão admissível, para cada classe de pressão, é um valor variável que depende da temperatura e do material do flange. Para exemplificar a enorme variação das pressões admissíveis em função das temperaturas e dos materiais, damos abaixo alguns valores de pressões admissíveis, da norma ASME.B.16.5, para flanges de dois materiais, das classes de pressão 300# e 600#:

Material	*Temperaturas* (°C)	*Pressões Admissíveis* MPa (*kg/cm²*)	
		Classe 300#	*Classe* 600#
Aço-carbono	200	4,5 (45)	8,9 (89)
	400	3,5 (35)	7,0 (70)
	500	0,9 (9)	1,6 (16)
Aço inoxidável tipo 304	200	3,3 (33)	6,5 (65)
	400	2,7 (27)	5,5 (55)
	500	2,6 (26)	5,2 (52)

Os flanges de tipo anel não são normalizados por nenhuma norma, e terão de ser calculados especialmente em cada caso. Para os flanges de grande diâmetro (30″, ou maoires), pode ser vantajoso, em muitos casos, calcular e fabricar especialmente o flange, em lugar de empregar flanges normalizados, que seriam quase sempre superdimensionados.

Para os flanges de aço de diâmetro nominal acima de 24″, a norma dimensional é a ASME B. 16.47, constituída de duas séries flanges, a série "A", baseada na antiga norma API-605 (do American Petroleum Institute), e a série "B", baseada na antiga norma MSS-SP-44, (da Manufacturers Standards Society). A norma ASME B.16.47, estabelece padrões dimensionais, classes de pressão, e curvas pressão/temperatura, semelhantes às da norma ASME. B.16.5.

Os flanges de aços inoxidáveis, embora tenham sempre o faceamento e a furação padrões, são freqüentemente mais leves do que os flanges normalizados, por uma questão de economia de material.

No Brasil fabricam-se flanges de aço de acordo com a norma ASME.B.16.5 de 1″ ϕ até 24″ ϕ nas classes 150# a 2.500#. Todos esses flanges são fabricados nos seguintes tipos: pescoço, sobreposto, rosqueado e cego.

Para a encomenda ou requisição de flanges, as seguintes informações mínimas devem ser dadas: quantidade (nú-

---

(*) A partir da edição de 1981, a norma ASME B. 16.5 inclui também tabelas de dimensões e de pressões admissíveis em unidades SI. Nessas tabelas, as sete classes de pressão nominal são denominadas, respectivamente PN20, PN50, PN68, PN100, PN150, PN250, PN250 e PN420.

(**) Estritamente falando, a norma não fornece curvas, e sim tabelas, que estão transformadas em curvas na Fig. 3.7. Para as tabelas completas de dimensões dos flanges e curvas de pressão/temperatura para diversas classes de pressão e materiais, veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações" já aqui citado.

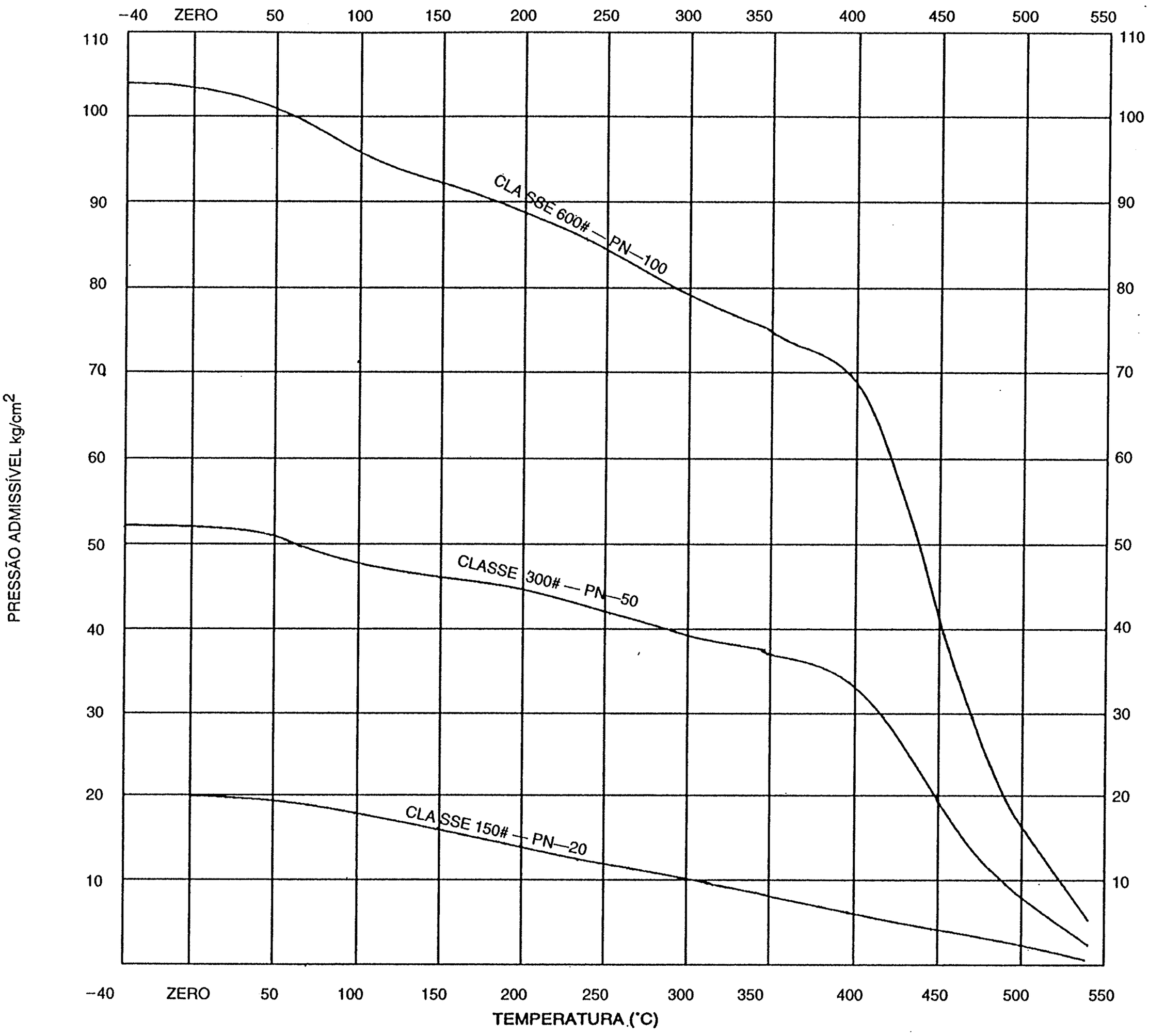


Fig. 3.7 Curvas de pressões admissíveis × temperaturas para flanges de aço-carbono do grupo 1.1, de acordo com a norma ASME.B.16.5.

mero de peças), tipo do flange, diâmetro nominal, tipo de face — e de acabamento da face, quando necessário —, especificação completa do material (especificação, grau e classe do material). Para flanges de pescoço e flanges de encaixe, é ainda necessário especificar a espessura de parede do tubo a ser soldado, e para flanges rosqueados é necessário especificar o tipo de rosca.

Exemplo: 20,6″ ϕ, de pescoço (WN) ASME.B.16.5, face com ressalto (RF) de acabamento ranhurado, 300#, ASTM-A-181 Gr. I, para tubos série 40 (ASME.B.36.10).

3.9 Flanges de Outros Materiais

Além dos flanges de aço, existem ainda flanges de ferro fundido, ferro maleável, metais não-ferrosos e vários materiais plásticos.

Os flanges de ferro fundido (norma ASME.B.16.1) são fabricados nas classes de pressão nominal 125# e 250#, de 1″ a 24″ dos tipos rosqueados e cegos. A furação dos flanges de ferro fundido da classe 125# é a mesma dos flanges de aço da classe 150#, que podem, portanto, se acoplar uns com os outros; o mesmo acontece com os flanges de ferro fundido da classe 250# e os de aço da classe 300#.

No Brasil fabricam-se flanges de ferro fundido, integrais com o tubo, rosqueados e cegos até 600 mm de diâmetro nominal, com dimensões e furação de acordo com a norma PB-15, da ABNT. Os flanges de ferro maleável são fabricados rosqueados, nos diâmetros de 10 a 150 mm, conforme a norma PB-16.

Os flanges de latão, bronze e alumínio são fabricados nas classes 150# e 300#, de ½″ a 4″ de diâmetro. Os flanges de plástico PVC são fabricados na classe 150# (da norma ASME.B.16.5), de ½″ a 8″ de diâmetro, rosqueados, cegos e de encaixe, para colagem ao tubo com adesivo apropriado. Fabricam-se ainda flanges para tubos "FRP", de plásticos reforçados com fibras de vidro, em toda faixa de diâmetros desses tubos, de acordo com a norma PB-15, ou na classe 150#, da norma ASME. B.16.5; esses flanges podem ser integrais com o tubo ou avulsos, ligados ao tubo como é descrito no Item 3.13.1, a seguir.

3.10 JUNTAS PARA FLANGES

Em todas as ligações flangeadas existe sempre uma junta que é o elemento de vedação.

Quando em serviço, a junta está submetida a uma forte compressão provocada pelo aperto dos parafusos, e também a um esforço de cisalhamento devido à pressão interna do fluido circulante. Para que não haja vazamento através da junta, é necessário que a pressão exercida pelos parafusos seja bem superior à pressão interna do fluido, que tende a afastar os flanges. Por esse motivo, quanto maior for a pressão do fluido, tanto mais dura e resistente terá de ser a junta, para resistir ao duplo esforço de compressão dos parafusos e de cisalhamento pela pressão.

A junta também deverá ser suficientemente deformável e elástica para se amoldar às irregularidades das superfícies dos flanges, garantindo a vedação.

Assim, as juntas duras, se por um lado resistem a pressões mais altas, por outro lado exigem maior perfeição no acabamento das faces dos flanges e no alinhamento dos tubos, e vice-versa. O material das juntas deverá ainda resistir à ação corrosiva do fluido, bem como a toda faixa possível de variação de temperaturas.

Com flanges de face com ressalto usam-se juntas planas em forma de coroa circular, cobrindo apenas o ressalto dos flanges, por dentro dos parafusos [Fig. 3.8 (*a*)]. Essas juntas costumam ter um anel de centralização, que faceia os parafusos por dentro, servindo para colocar e manter a junta na sua posição correta entre os flanges.

As juntas para os flanges de face plana cobrem a face completa dos flanges, inclusive a furação dos parafusos [Fig. 3.8 (*b*)]. Para os flanges de face tipos macho e fêmea, ou lingüeta e ranhura, as juntas são em forma de coroa circular estreita, encaixando-se no fundo da ranhura; como a junta fica confinada, resiste a esforços muito elevados tanto de compressão como de cisalhamento. Com os flanges de face para junta de anel, usam-se juntas de anel metálico maciço, geralmente de seção oval, que se encaixam nos rasgos circulares dos flanges.

As juntas para flanges podem ser não-metálicas, semimetálicas, ou metálicas, sendo os seguintes tipos mais usuais:

1. *Juntas não-metálicas* — Existe uma grande variedade de juntas não-metálicas, empregadas com flanges de face com ressalto, ou com flanges de face plana; a espessura dessas juntas varia de 0,7 a 3 mm, sendo 1,5 mm a espessura mais comum. Para juntas de quaisquer dos materiais abaixo citados, o ressalto dos flanges pode ter as ranhuras espiraladas convencionais. Os principais materiais empregados são:

a) Borracha natural: usada para água, ar, condensado até 60°C.

b) Borrachas sintéticas: usadas para óleos até 80°C.

c) Materiais plásticos: usados para fluidos corrosivos em baixas pressões e temperatura ambiente.

d) Papelão hidráulico: é um nome genérico para designar diversas classes de juntas de amianto comprimido grafitado com um material aglutinante. De acordo com as especificações da ABNT, são os seguintes os principais tipos dessas juntas:

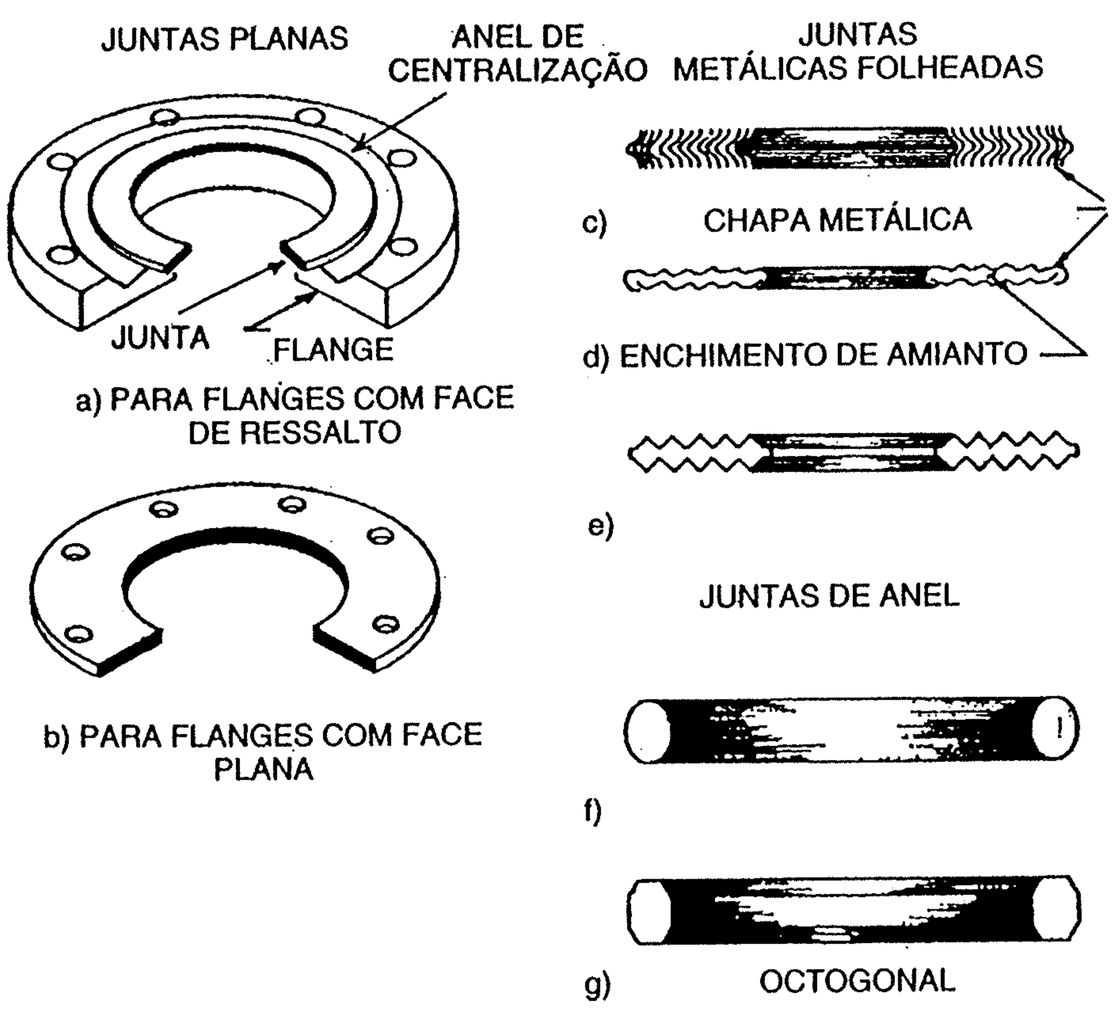


Fig. 3.8 Juntas para flanges.

— EB-216: amianto com composto de borracha; para água, ar, vapor saturado, soluções neutras até 200°C.
— EB-212: amianto com composto especial de borracha; para hidrocarbonetos, vapor, amônia, cáusticos, água, ácidos fracos, salmoura etc. até 500°C.
— EB-227: amianto com armação metálica inserida; para vapor, óleos, hidrocarbonetos etc., até 590°C.
— EB-313: amianto com composto resistente a ácidos; para ácidos em geral até 455°C(*).

Na prática corrente, essas juntas são de uso generalizado para flanges de face com ressalto e para flanges de face plana, das classes de pressão 150#, 300# e 400#. As normas da Petrobrás, por exemplo, especificam as juntas EB-212 para tubulações de água, condensado, vapor, hidrocarbonetos, gases e outros fluidos, com flanges das classes 150# e 300#, para temperaturas até 400°C.

Essas juntas aceitam também o acabamento do ressalto dos flanges com as ranhuras espiraladas convencionais, também chamadas de "fonográficas".

As dimensões dessas juntas estão padronizadas na norma ASME.B.16.21.

2. *Juntas semimetálicas, em espiral* [Fig. 3.8 (*c*)] — Essas juntas são constituídas de uma lâmina metálica (geralmente de aço inoxidável), torcida em espiral, com enchimento de amianto entre cada volta. É prática usual empregar-se essas juntas nos seguintes casos:

— Flanges de classe de pressão 600#, em qualquer temperatura.
— Flanges de classes de pressão 150# e 300#, para temperaturas inferiores a zero°C, superiores a 400°C, ou para serviços com necessidade de maior segurança contra vazamentos.

As juntas semimetálicas em espiral, que são notáveis pela sua excelente elasticidade, costumam ter um dispositivo de centralização para facilitar o correto posicionamento nos flanges; esse dispositivo pode ser um anel externo de aço — que fica encaixado entre os parafusos dos flanges —, ou um arame que se prende em dois parafusos diametralmente opostos. Essas juntas estão padronizadas na norma EB-234, da ABNT e na norma ASME B.16.20.

Para emprego com essas juntas, recomenda-se o acabamento liso para a face dos flanges, com rugosidade média máxima de 0,003 mm (125 RMS).

3. *Juntas metálicas folheadas* [Fig. 3.8 (*d*)] — São juntas com uma capa metálica, plana ou corrugada e enchimento de amianto; a espessura da junta é de 2 a 3 mm. Os casos de emprego são os mesmos das juntas semimetálica sem espiral, sendo que essas juntas têm geralmente vedação mais difícil, exigindo flanges com acabamento liso com rugosidade média máxima de 0,002 mm ou com ranhuras concêntricas; por esse motivo, as juntas folheadas têm sido suplantadas e substituídas pelas juntas semimetálicas em espiral. Dependendo das condições de serviço, a capa metálica pode ser de aço-carbono, aços inoxidáveis, metal Monel etc.

4. *Juntas metálicas maciças* [Fig. 3.8 (*e*)] — São juntas metálicas com faces planas ou ranhuradas. Usam-se essas juntas com flanges de face com ressalto (para pressões muito altas), e com flanges de face de macho e fêmea ou de ranhura e lingüeta. Os materiais empregados são os mesmos das juntas folheadas. Em todas as juntas metálicas é importante que o material da junta seja menos duro do que o material dos flanges.

5. *Juntas metálicas de anel* (JTA) [Fig. 3.8 (*f*) (*g*)] — São anéis metálicos maciços de seção ovalada ou octogonal, sendo a ovalada a mais comum. As dimensões do anel, que variam com o diâmetro e com a classe de pressão nominal do flange, estão padronizadas na norma ASME.B.16.20. Esses anéis são geralmente de aço inoxidável, fabricando-se também de aço-carbono, aços-liga, níquel e metal Monel, sendo sempre peças de fabricação cuidadosa. A dureza do material da junta de anel deve ser sempre menor do que a dureza do material do flange, sugerindo-se uma diferença mínima de 30 Brinell. A norma N-1693, da Petrobrás, adota as seguintes durezas máximas para essas juntas, conforme o seu material:

aço-carbono: 90 BHN
aço-liga Cr-Mo: 130 BHN
aços inoxidáveis tipos 304, 316, 321 e 347: 130 BHN
aços inoxidáveis tipos 304L e 316L: 110 BHN

As juntas de anel são empregadas nos casos em que são usados flanges com face para junta de anel: veja Item 3.7.3. Essas juntas estão padronizadas na norma EB-307, da ABNT.

Devido à pequena área de contato da junta com os flanges, a força de aperto necessária para essas juntas é bem inferior à mesma força para as juntas metálicas maciças.

3.11 Parafusos e Estojos para Flanges

Para a ligação de um flange no outro e aperto da junta, empregam-se dois tipos de parafusos:

— Parafusos de máquina (machine bolts).
— Estojos (stud bolts).

Os parafusos de máquina são parafusos cilíndricos com a cabeça integral sextavada ou quadrada [Fig. 3.9 (*a*)]. A parte rosqueada nunca abrange todo o corpo do parafuso. As dimensões do parafuso estão padronizadas na norma ASME.B.18.2, e as dimensões dos filetes de rosca na norma ASME.B.1.20.1. Os parafusos de máquina são designados pelo comprimento (medido da extremidade do parafuso até a base da cabeça) e pelo diâmetro nominal da rosca. Esses parafusos e respectivas porcas e arruelas estão padronizados nas normas P-PB-41 a 44, da ABNT.

(*) Em decorrência das restrições legais ao emprego do amianto por ser reconhecidamente um material cancerígeno, o amianto tem sido substituído por outros materiais. Nas juntas para flanges, as fibras de amianto têm sido substituídas por fibras sintéticas ou de grafite flexível.

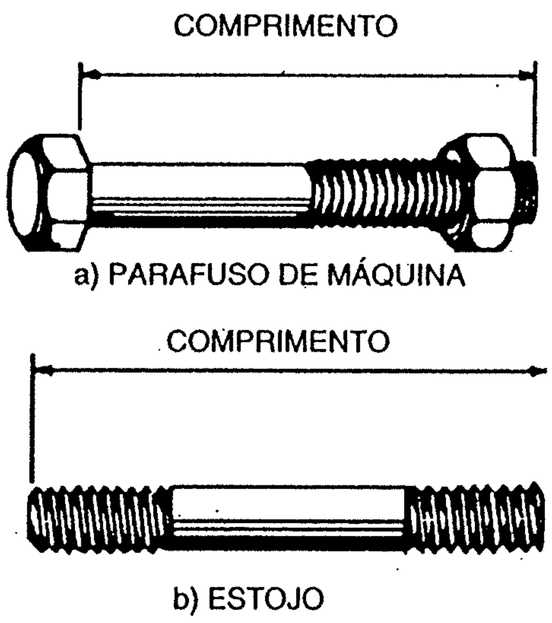


Fig. 3.9 Parafusos para flanges.

A norma ASME.B.31.3 permite o uso de parafusos de máquina de aço-carbono, para flanges até classe 300#, com juntas não-metálicas e para temperaturas até 200°C; na prática, esses parafusos só costumam ser empregados para flanges de ferro fundido e às vezes para flanges de aço da classe 150#.

Os estojos [Fig. 3.9 (*b*)] são barras cilíndricas rosqueadas com porcas e contraporcas independentes; a parte rosqueada pode ou não abranger todo o comprimento. Os estojos permitem melhor aperto do que os parafusos de máquina — porque a parte mais fraca desses parafusos é justamente a ligação do corpo com a cabeça —, podendo ser usados para quaisquer pressões e temperaturas. Os filetes de rosca dos estojos devem ser obtidos por rolamento e não por corte (usinagem). Os estojos são designados pelo comprimento total e pelo diâmetro nominal da rosca.

As dimensões das porcas e dos filetes de rosca dos estojos estão padronizadas também pelas normas ASME.B.18.2 e ASME.B.1.20.1.

Há uma variedade muito grande de aços-liga para estojos e porcas, aplicáveis a várias condições de trabalho: a norma ASME.B.31.3 possui tabelas dando as tensões admissíveis de trabalho e as limitações de temperatura para os diversos materiais. Para temperaturas até 480°C usam-se estojos de aço-liga A-193 Gr. B.7 (1% Cr, 0,2% Mo), e para temperaturas até 600°C os de Gr. B. 5 (5% Cr, ½% Mo). Para temperaturas abaixo de zero os estojos devem ser de aço-liga Ni (ASTM A-320). De acordo com a norma ASME B.31.3, os estojos de aços inoxidáveis austeníticos não devem ser empregados em flanges de classe de pressão 600#, ou acima, devido à menor tensão admissível desses materiais em temperaturas inferiores a 500°C, em relação aos aços de baixa liga.

O aperto dos parafusos de uma ligação flangeada traciona os parafusos, comprime a junta, e introduz esforços de flexão nos flanges. Por essa razão, as normas fixam limites para a tensão de escoamento do aço dos parafusos, para uso com flanges de materiais de fraca resistência, como o ferro fundido, por exemplo.

No aperto dos parafusos distingue-se o aperto inicial e o aperto residual. O aperto inicial tem por finalidade fazer com que a junta se adapte o mais perfeitamente possível às faces dos flanges, amoldando-se a todas as imperfeições e irregularidade que possam existir. Esse aperto, que deverá ser suficiente para causar o escoamento do material das juntas, será tanto mais forte quanto mais dura for a junta. São os seguintes os valores do aperto inicial para alguns tipos de juntas:

- Juntas de borracha macia — 2,5 a 4,0 MPa (≅ 25 a 40 kg/cm²).
- Juntas de papelão hidráulico — 8,0 a 12,0 MPa (≅ 80 a 120 kg/cm²).
- Juntas metálicas — 20 a 40 MPa (≅ 200 a 400 kg/cm²).

O aperto residual tem por objetivo combater o efeito da pressão interna na tubulação tendendo a separar os flanges. Esse aperto terá de ser tanto mais forte quanto maior for a pressão interna. Na prática, para evitar vazamentos, basta que o aperto residual tenha 1½ a 2 vezes o valor da pressão interna.

Evidentemente, em qualquer ligação flangeada, o aperto residual deve ser somado ao aperto inicial.

Em tubulações sujeitas a temperaturas elevadas, os parafusos ou estojos tendem a se dilatar e se deformar por fluência, ambos os efeitos tendo por conseqüência afrouxar o aperto, sendo por isso necessário um novo aperto adicional a quente.

3.12 Ligações de Ponta e Bolsa

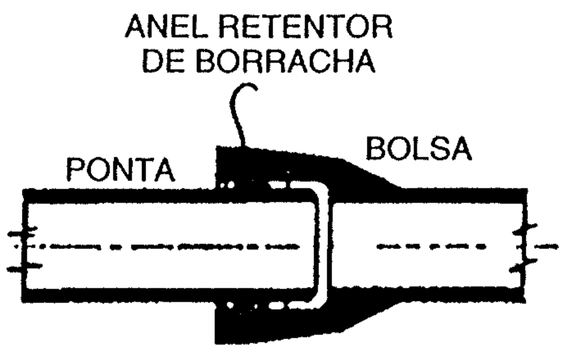
A ligação de ponta e bolsa é um sistema muito antigo, mas ainda usado correntemente para as seguintes classes de tubulações:

- Tubulações de ferro fundido e de ferro-ligados para água, esgotos e líquidos corrosivos.
- Tubulações de ferro fundido para gás.
- Tubulações de barro vidrado e de cimento-amianto.
- Tubulações de concreto simples ou armado.

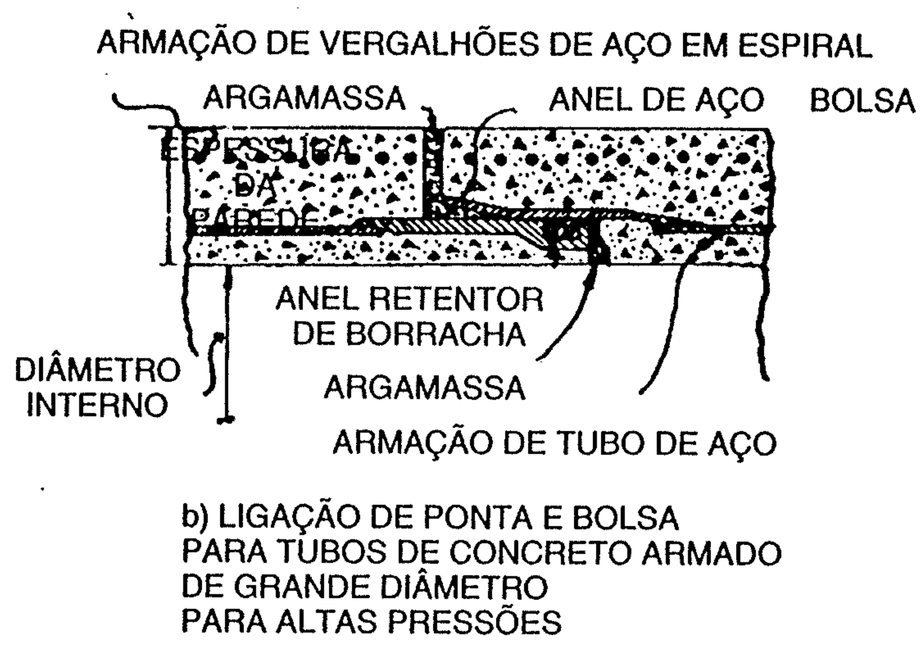
Empregam-se também ligações de ponta e bolsa para algumas tubulações de materiais plásticos termoestáveis, em diâmetros grandes.

Para todas essas tubulações, emprega-se a ponta e bolsa em toda a faixa de diâmetros em que são fabricadas. No caso das tubulações de barro vidrado, cimento-amianto e concreto, a ponta e bolsa é praticamente o único sistema de ligação usado.

Para uso com ponta e bolsa, as varas de tubos são assimétricas, tendo, cada uma, a ponta lisa em um extremo e a bolsa no outro extremo [Fig. 3.10 (*a*)]. A ponta lisa de um tubo encaixa-se dentro da bolsa do outro tubo, no interior da qual coloca-se o elemento de vedação que servirá para dar estanqueidade ao conjunto. O elemento vedante deve ser elástico, ou ter perfeita aderência ao tubo; deve também ser resistente ao fluido contido, não dissolvendo nem contaminando o mesmo. São os seguintes os elementos vedantes geralmente empregados:



a) LIGAÇÃO DE PONTA E BOLSA PARA TUBOS DE FERRO FUNDIDO COM ANEL RETENTOR DE BORRACHA



b) LIGAÇÃO DE PONTA E BOLSA PARA TUBOS DE CONCRETO ARMADO DE GRANDE DIÂMETRO PARA ALTAS PRESSÕES

Fig. 3.10 Ligação de ponta e bolsa. [(a) *Cortesia da Cia. Ferro Brasileiro.*]

— Tubos de ferro fundido: anéis retentores de borracha ou de materiais plásticos, que se alojam, com pequena pressão, em um encaixe por dentro da bolsa. Para esses tubos são diferentes os perfis e detalhes da ponta e da bolsa dos tubos, conforme se destinem a serviço com líquidos ou com gases.
— Tubos de concreto ou de cimento-amianto: argamassa de cimento com anéis de borracha.
— Tubos de barro vidrado: argamassa de cimento.

Com os tubos de concreto armado a ponta de encaixe não é lisa, tendo um recorte especial com um reforço de aço para servir de batente ao anel retentor de borracha; a argamassa de cimento é colocada depois para fechar completamente o espaço entre os dois tubos e dar o acabamento [Fig. 3.10 (*b*)].

Para os tubos de materiais plásticos termoestáveis, as ligações são preenchidas com massa vedante do próprio plástico, para cura (polimerização) no local.

As ligações de ponta e bolsa permitem quase sempre um pequeno movimento angular entre um tubo e outro, e às vezes também um ligeiro movimento axial; fazem exceção, evidentemente, as ligações vedadas com argamassa de cimento ou materiais equivalentes. Os anéis retentores de borracha para tubos de ferro permitem um considerável movimento angular (4° a 8°, dependendo do diâmetro), sendo por isso tal sistema de ligação usado em tubulações sujeitas a desnivelamentos devidos a recalques de terreno.

Empregam-se as ligações de ponta e bolsa para líquidos até 1,5 MPa ($\cong$ 15 kg/cm^2) e para gases até 0,1 MPa ($\cong$ 1 kg/cm^2).

3.13 Outros Meios de Ligação de Tubos

Além dos sistemas vistos acima, existem vários outros meios de ligação de tubos, entre os quais podemos citar os seguintes:

1. *Ligações para tubos de plásticos reforçados com fibras de vidro* (*tubos FRP*) — Como já vimos no Item 2.18, esses tubos podem ter ambas as extremidades lisas, com bolsas, ou com flanges integrais. Os tubos com extremidades lisas ou com bolsas são ligados um ao outro, ou aos diversos acessórios, por meio de niples especiais, que são colocados com adesivo apropriado ao tipo de resina plástica. A ligação é depois recoberta com camadas sucessivas de resina (com um catalisador para a polimerização) e mantas de fibras de vidro, para manter a resistência mecânica do tubo. A Fig. 3.11 mostra um desses sistemas de ligação, para tubos com extremidades lisas.

Os tubos com extremidades com flanges integrais são unidos como uma ligação flangeada convencional. Esses flanges têm furação de acordo com a norma PB-15 ou com a norma ASME B.16.5 (classe 150#).

2. *Ligações de compressão* — As ligações de compressão são sistemas empregados para tubos de pequeno diâmetro (em geral até 50-60 mm), de aço-carbono, aços inoxidáveis e metais não-ferrosos, principalmente para serviços de altas pressões, com gases e com óleos, e tam-

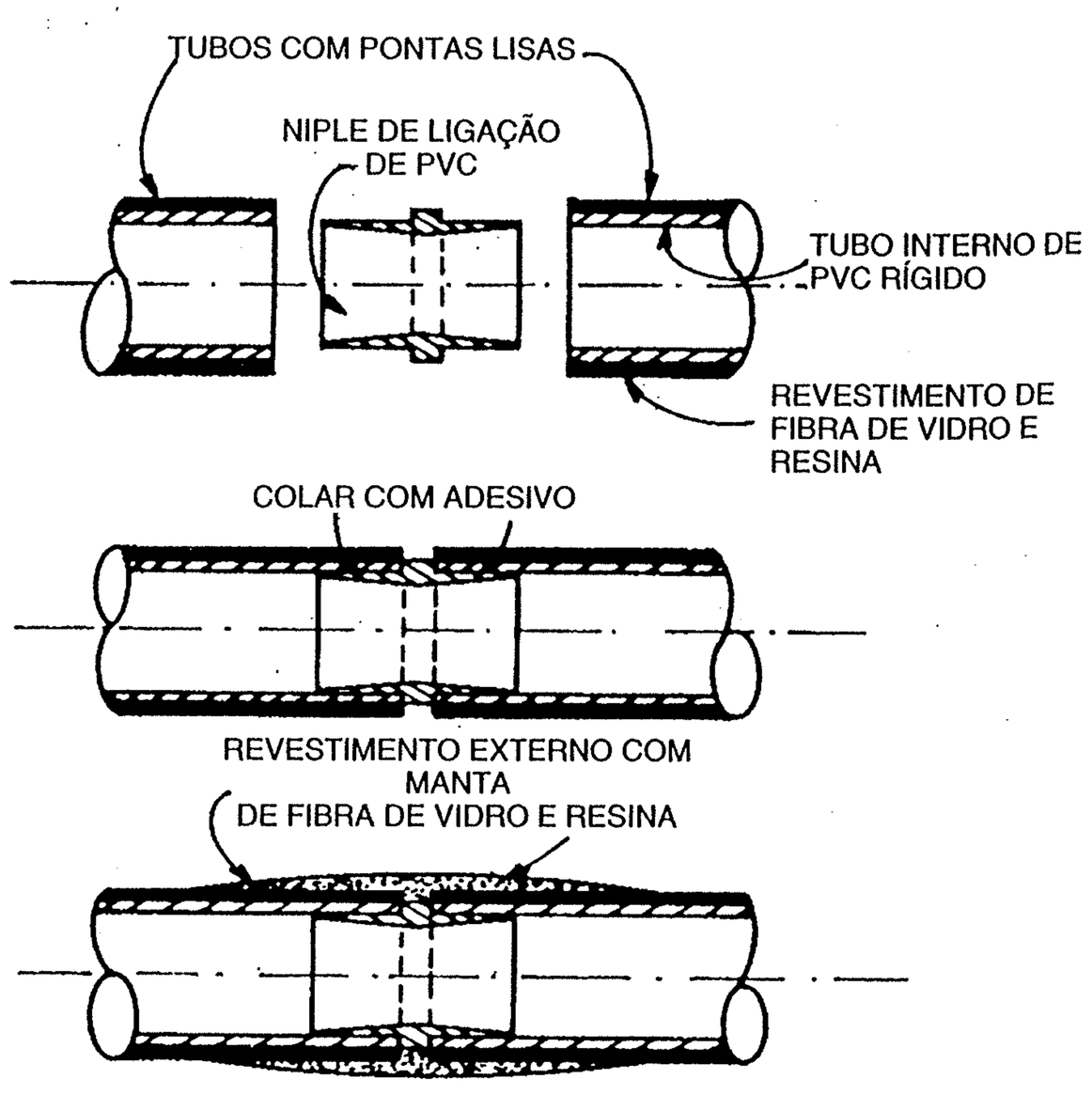


Fig. 3.11 Emenda de tubos PVC, com revestimento laminado de fibra de vidro e resina.

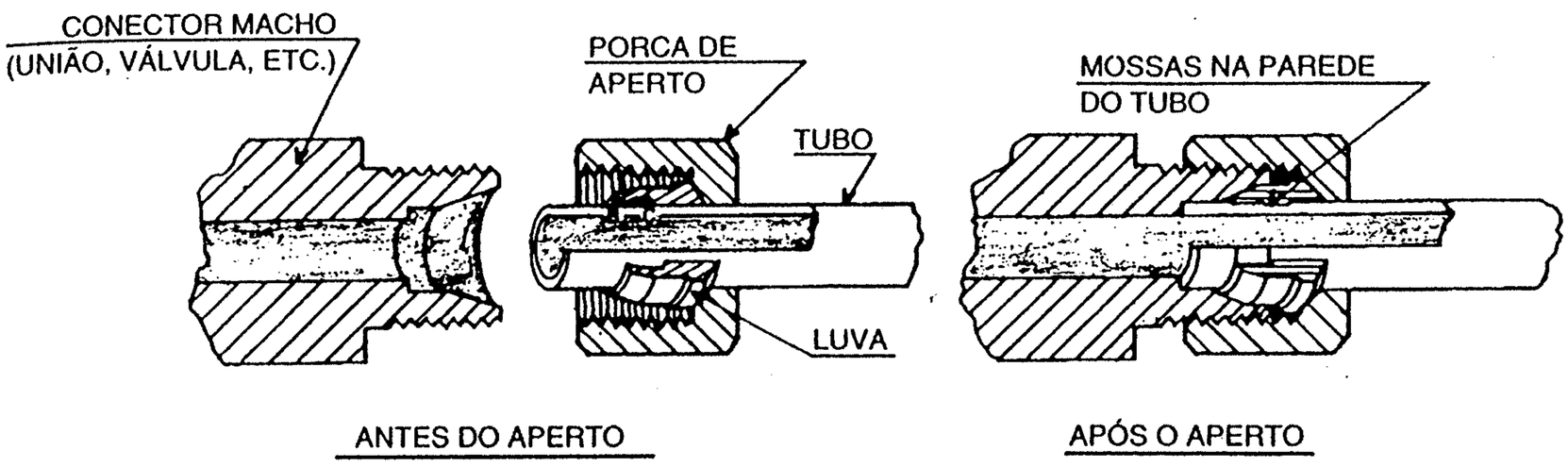


Fig. 3.12 Exemplo de ligação de compressão. (*Cortesia de Ermeto Equipamentos Industriais Ltda.*)

bém para linhas de ar de instrumentação; alguns tipos podem trabalhar com pressões até 200 MPa (≅ 2.000 kg/cm^2).

Em todas essas ligações, a vedação é obtida pela interferência metálica entre o tubo e uma luva, podendo a interferência ser conseguida por vários meios, mas sempre a frio. No exemplo mostrado na Fig. 3.12, a interferência se dá pela penetração na parede do tubo de duas arestas de uma luva de aço de alta dureza, causada pelo aperto de uma porca de rosca fina. A Fig. 3.13 mostra outro sistema, no qual a interferência é conseguida pela deformação diametral uniforme da luva e do próprio tubo, pela ação de uma ferramenta especial aplicada por fora do tubo. Em qualquer caso, a vedação é muito boa e a ligação não constitui um ponto fraco na tubulação.

Uma das vantagens das ligações de compressão é o fato de não serem um "trabalho a quente" — como é qualquer soldagem, por exemplo; podem assim ser feitas, com toda segurança mesmo na presença de combustíveis ou inflamáveis.

3. *Ligações patenteadas diversas* (juntas "Dresser", "Victaulic", "Flexlock", "Gibault" etc.) — Essas ligações são todas não rígidas, permitindo sempre um razoável movimento angular e um pequeno movimento axial entre as duas varas de tubo.

Na junta "Dresser" [Fig. 3.14 (*a*)] o aperto dos parafusos faz aproximarem-se os dois anéis, um do outro, comprimindo contra a luva os retentores de borracha que garantem a vedação. As juntas "Flexlock" e "Gibault" são semelhantes à junta "Dresser". Na junta "Victaulic" temos um único anel retentor de borracha, de formato especial, que se encaixa em rasgos abertos nas extremidades de ambos os tubos [Fig. 3.14 (*b*)]. Por fora do anel retentor colocam-se duas peças, presas entre si por parafusos, abrangendo cada uma meia circunferência dos tubos. Apertando-se os parafusos, as peças comprimem o anel retentor, dando a vedação.

Todas essas ligações podem também ser usadas como juntas de expansão em tubulações de temperatura ambiente (veja Cap. 6) ou de grande diâmetro (adutoras, linhas de água, linhas de gás etc.), bem como elementos flexíveis para compensar recalques de terreno e possibilitar pequenos movimentos da tubulação, ou ainda na montagem de tubulações provisórias, como é o caso das linhas para irrigação.

Todos esses sistemas de ligações estão limitados a pressões relativamente baixas (1,2 MPa≅ 12 kg/cm^2 no máximo) e em geral não devem trabalhar com vácuo, em linhas de sucção de bombas, por exemplo.

4. *Ligações em tubos com revestimentos internos anticorrosivos* — Em tubulações com revestimentos internos anticorrosivos, as ligações entre dois tubos ou entre tubos e quaisquer outras peças são sempre pontos fracos sujeitos a possível ocorrência de corrosão localizada — por vezes violenta —, devido à dificuldade que existe em conseguir-se a necessária continuidade e perfeição da proteção anticorrosiva. Essa continuidade e perfeição são fáceis de ser conseguidas quando todas as ligações são flangeadas — desde que o revestimento se estenda sobre as faces

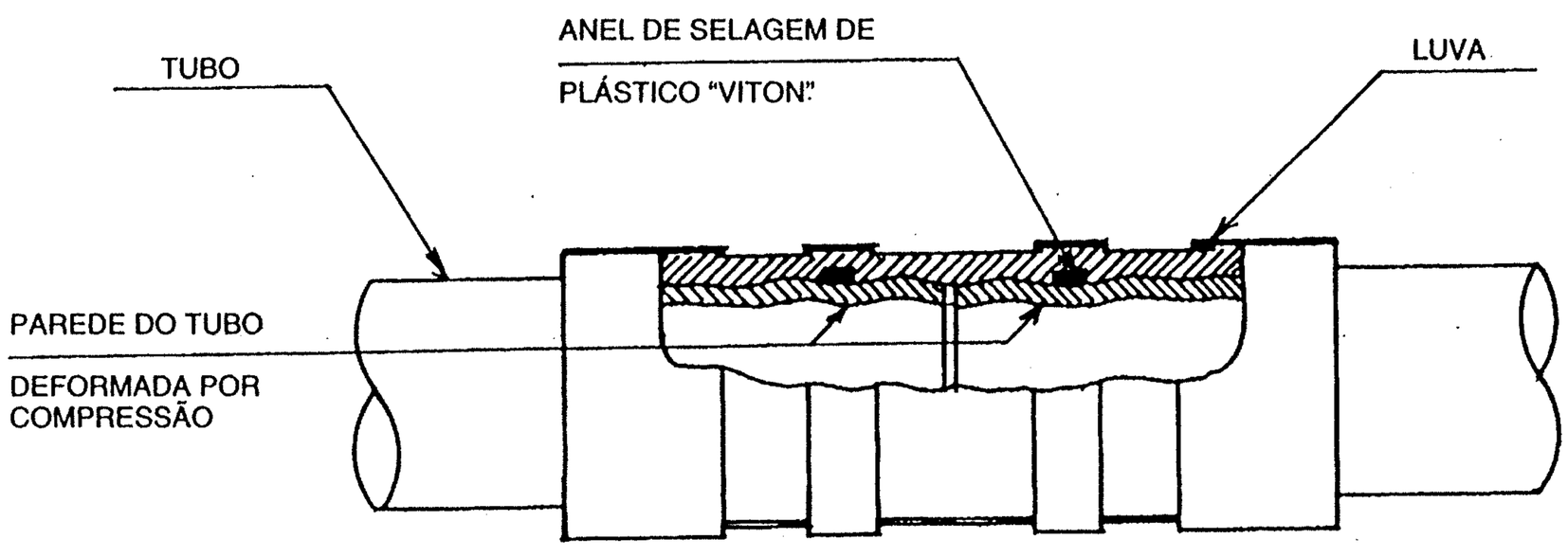
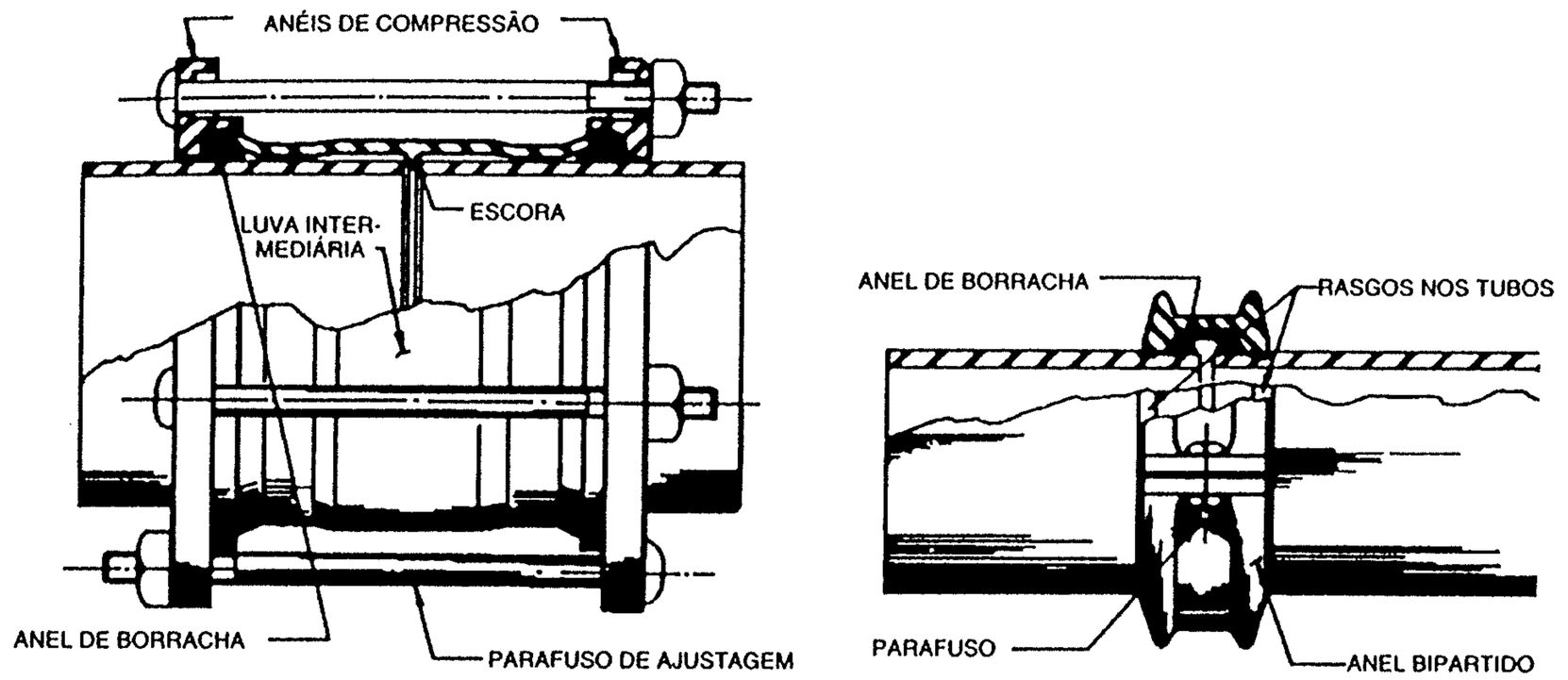


Fig. 3.13 Ligação de compressão "Pyplok". (*Cortesia da "Deutsch Metal Components".*)



a) JUNTA "DRESSER" b) JUNTA "VICTAULIC"

Fig. 3.14 Exemplos de ligações patenteadas.

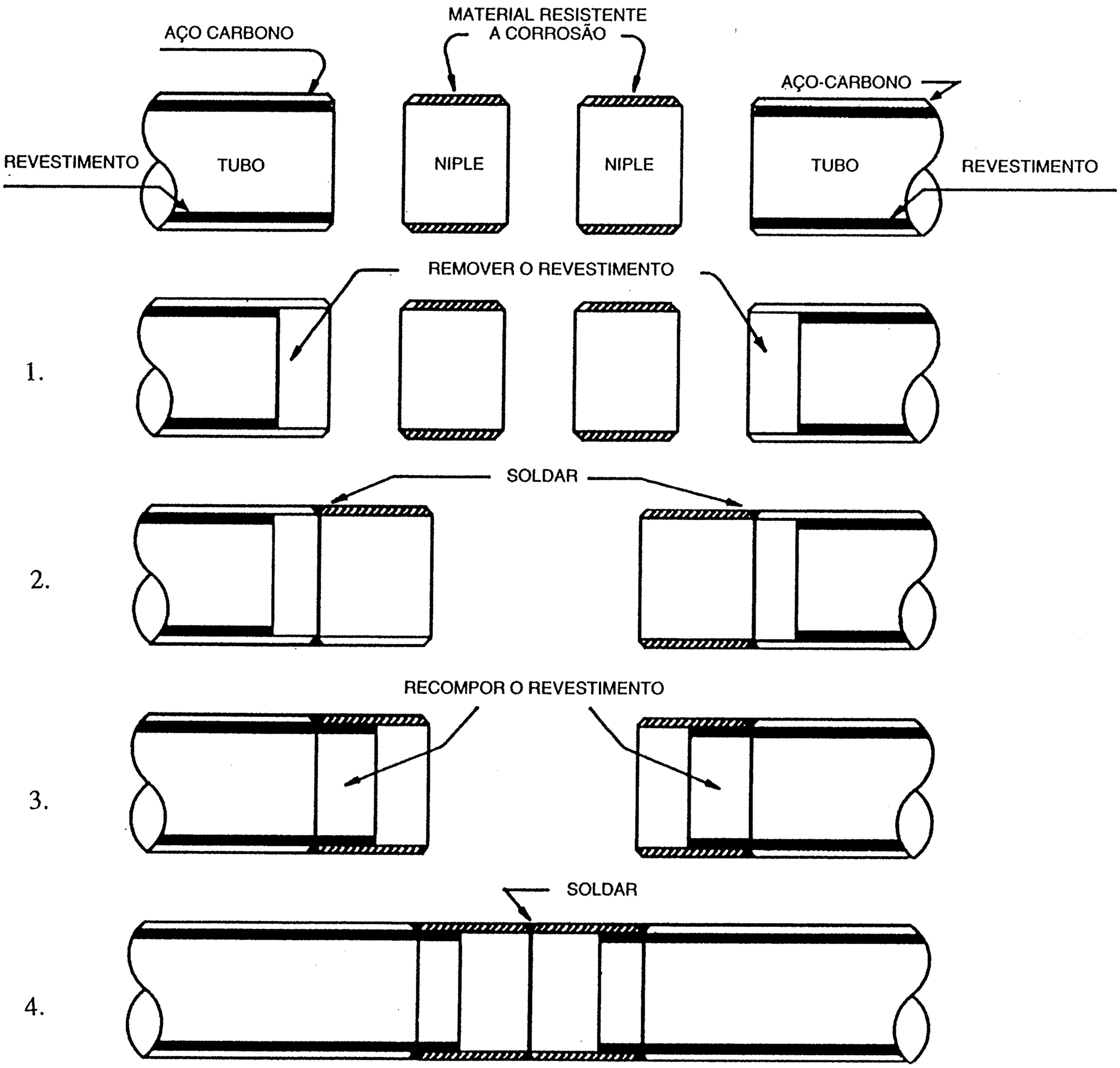


Fig. 3.15 Ligação entre tubos com revestimento interno anticorrosivo.

dos flanges, como já referido no Item 3.5 —, e também nas tubulações de diâmetro muito grande (600 mm, ou mais), onde é possível retocar manualmente o revestimento nos pontos de ligação depois da tubulação montada. Entretanto, fazer todas as ligações flangeadas é um recurso caro e complicado, que raramente se justifica.

A Fig. 3.15 mostra um meio possível de garantir a continuidade da proteção anticorrosiva em tubos com revestimento interno e com ligações comuns de solda de topo, usando-se niples (pedaços curtos de tubos) de um material metálico que seja soldável e resistente ao fluido corrosivo, aço inoxidável, por exemplo. A ligação é feita nas seguintes etapas:

1. Remove-se localmente o revestimento dos tubos.
2. Solda-se a topo, em cada um dos tubos, um niple de um material que dispense o revestimento anticorrosivo. Os niples não devem ter comprimento maior do que 50 mm.
3. Retoca-se o revestimento interno de forma a cobrir completamente, e com folga, as soldas dos niples nos tubos. Assim, as soldas dissimilares não ficam em contato com o fluido corrosivo.
4. Solda-se a topo um niple no outro.

Esse recurso pode ser empregado em tubulações importantes, nas quais não se possa tolerar pontos de corrosão localizada, e seja impossível retocar as emendas dos tubos.

3.14 Sistemas de Ligação para Tubulações de Aço

Considerando que as tubulações de aço representam a imensa maioria de todas as tubulações industriais, podemos fazer o seguinte quadro resumo dos principais sistemas de ligação que podem ser recomendados para as tubulações de qualquer tipo de aço, de acordo com a prática industrial usual:

Tabela 3.1

Ligações correntes ao longo da tubulação	Serviços de baixa responsabilidade, ou não-severos	Diâmetros até 4″:	Ligações rosqueadas com luvas
		Diâmetros de 6″ ou maiores:	Solda de topo
	Serviços severos	Diâmetros até 1½″:	Ligações de solda de encaixe com luvas*
		Diâmetros de 2″ ou maiores:	Solda de topo
Ligações nos extremos da tubulação, ou onde for exigida facilidade de desmontagem	Serviços de baixa responsabilidade, ou não-severos	Diâmetros até 4″:	Ligações rosqueadas com uniões
		Diâmetros de 6″ ou maiores:	Ligações flangeadas (flanges rosqueados ou sobrepostos)
	Serviços severos	Diâmetros até 1½″:	Ligações de solda de encaixe com uniões
		Diâmetros de 2″ ou maiores:	Ligações flangeadas (flanges de pescoço ou de tipo anel)

Serviço de baixa responsabilidade significa fluido não perigoso em pressões até 0,7 MPa (≅ 7 kg/cm²) e em temperaturas até 100°C.
Serviço severo significa alta responsabilidade (fluidos inflamáveis, tóxicos etc.) ou pressões e/ou temperaturas superiores aos limites citados acima.

(*) As ligações de solda de encaixe não são permitidas para serviço com hidrogênio (veja Item 8.10), e não são recomendadas em serviços de alta corrosão ou erosão. Para esses serviços, devem ser evitadas as tubulações de diâmetro nominal inferior a 1", empregando-se a solda de topo a partir de 1".

4

VÁLVULAS

4.1 DEFINIÇÃO

As válvulas são dispositivos destinados a estabelecer, controlar e interromper o fluxo em uma tubulação. São os acessórios mais importantes existentes nas tubulações, e que por isso devem merecer o maior cuidado na sua seleção, especificação e localização. Em qualquer instalação deve haver sempre o menor número possível de válvulas, compatível com o funcionamento da mesma, porque as válvulas são peças caras, onde sempre há possibilidade de vazamentos (em juntas, gaxetas etc.) e que introduzem perdas de carga, às vezes de grande valor. As válvulas são entretanto peças indispensáveis, sem as quais as tubulações seriam inteiramente inúteis. Por esse motivo, o desenvolvimento das válvulas é tão antigo quanto o das próprias tubulações; a Fig. 4.1 mostra, por exemplo, alguns tipos de válvulas projetadas no Séc. XV por Leonardo da Vinci. Nas ruínas de Pompéia e de Herculano (Itália) foram encontradas válvulas macho de bronze, com características surpreendentemente avançadas para a época.

As válvulas representam, em média, cerca de 8% do custo total de uma instalação de processo.

A localização das válvulas deve ser estudada com cuidado, para que a manobra e a manutenção das mesmas sejam fáceis, e para que as válvulas possam ser realmente úteis.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS VÁLVULAS

Existe uma grande variedade de tipos de válvulas, algumas para uso geral, e outras para finalidades específicas. São os seguintes os tipos mais importantes de válvulas:

1. *Válvulas de Bloqueio* (block-valves)
   — Válvulas de gaveta (gate valves).
   — Válvulas de macho (plug, cock valves).
   — Válvulas de esfera (ball valves).
   — Válvulas de comporta (slide, blast valves).

Denominam-se válvulas de bloqueio as válvulas que se destinam apenas a estabelecer ou interromper o fluxo, isto é, que só devem funcionar completamente abertas ou completamente fechadas. As válvulas de bloqueio costumam ser sempre do mesmo diâmetro nominal da tubulação, e têm uma abertura de passagem de fluido com secção transversal comparável com a da própria tubulação.

2. *Válvulas de Regulagem* (throttling valves)
   — Válvulas de globo (globe valves).
   — Válvulas de agulha (needle valves).
   — Válvulas de controle (control valves).
   — Válvulas de borboleta (butterfly valves).
   — Válvulas de diafragma (diaphragm valves).

Válvulas de regulagem são às destinadas especificamente para controlar o fluxo, podendo por isso trabalhar em qualquer posição de fechamento parcial.

Essas válvulas são às vezes, por motivo de economia, de diâmetro nominal menor do que a tubulação.

As válvulas de borboleta e de diafragma, embora sejam especificamente válvulas de regulagem, também podem trabalhar como válvulas de bloqueio.

3. *Válvulas que Permitem o Fluxo em um só Sentido*
   — Válvulas de retenção (check valves).
   — Válvulas de retenção e fechamento (stop-check valves).
   — Válvulas de pé (foot valves).

4. *Válvulas que Controlam a Pressão de Montante*
   — Válvulas de segurança e de alívio (safety, relief valves).
   — Válvulas de excesso de vazão (excess flow valves).

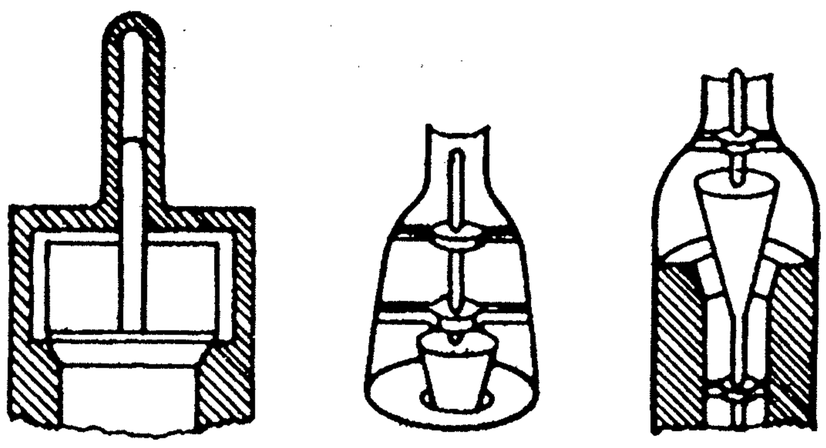


Fig. 4.1

—Válvulas de contrapressão (back-pressure valves).

5. *Válvulas que Controlam a Pressão de Jusante*
—Válvulas redutoras e reguladoras de pressão.
—Válvulas de quebra-vácuo (ventosas).

Antes de vermos com mais detalhes os principais tipos de válvulas, queremos chamar atenção para alguns aspectos comuns a todas as válvulas, relativos à construção e operação das mesmas.

A variedade de tipos e de modelos de válvulas é muito grande, sendo assim inviável a referência a todos os existentes; faremos referência somente aos tipos de emprego mais generalizado.

No Cap. 8 deste livro, vamos ver exemplos de especificação de válvulas para alguns serviços mais comuns na prática, juntamente com a seleção e especificação de tubos, meios de ligação, conexões etc.

4.3 Construção das Válvulas

Corpo e Castelo — O invólucro externo de pressão de uma válvula, isto é, a sua carcaça, compõe-se de duas partes denominadas de corpo e de castelo, também chamado tampa. O corpo (body) é a parte principal da carcaça, na qual estão a(s) sede(s), onde se assenta a peça de fechamento, bem como as extremidades (com flanges, roscas etc.) para ligação às tubulações. O castelo (bonnet) é a parte superior da carcaça, que se desmonta para acesso ao interior da válvula. Três meios mais usuais são empregados para a fixação do castelo ao corpo da válvula:

a) Castelo rosqueado diretamente ao corpo (screwed bonnet) — É o sistema mais barato, usado, na prática corrente, apenas em pequenas válvulas para serviços de baixa responsabilidade (Fig. 4.2)(*). A norma ASME. B.31.1 (para tubulações de vapor) não permite o emprego dessas válvulas em pressões acima de 1,7 MPa (≅ 17 kg/cm²); pela norma ASME. B.31.3, não são permitidas para os serviços altamente cíclicos e para os de "Categoria M" (veja Item 2.7).

b) Castelo preso ao corpo por uma porca solta de união (union bonnet) — Este sistema é empregado para válvulas pequenas (até 2″) de boa qualidade, para serviços severos ou altas pressões (Figs. 4.13 e 4.15); empregam-se também em válvulas de desmontagem freqüente.

c) Castelo aparafusado (bolted bonnet) — É o sistema usado para válvulas grandes (3″ em diante) e para qualquer pressão (Figs. 4.3 e 4.12), por ser mais robusto e permitir muito melhor vedação.

Qualquer que seja o sistema de fixação do castelo ao corpo da válvula, deverá haver sempre uma junta de vedação entre essas duas peças.

Sistemas de construção das válvulas — A grande maioria das válvulas de aço (qualquer tipo de aço) tem o corpo e o castelo de construção forjada, para os diâmetros pequenos (até 1½″ — 2″), e de construção fundida, para os diâmetros maiores. As válvulas com corpo e castelo de metais não-ferrosos também podem ser forjadas ou fundidas.

Além desses sistemas de construção convencional, existem válvulas com sistemas especiais de construção, para atender a algumas condições específicas, entre as quais podemos citar:

—Válvulas com o corpo fabricado de chapas de aço (como se fosse um vaso de pressão). Esse sistema pode ser empregado economicamente para as válvulas que tenham o corpo de formato simples, tais como as válvulas de gaveta (e suas variantes), válvulas de borboleta e alguns tipos de válvulas de retenção, para serviços de baixas pressões e diâmetros muito grandes, inclusive quando acima dos limites de fabricação comercial corrente.

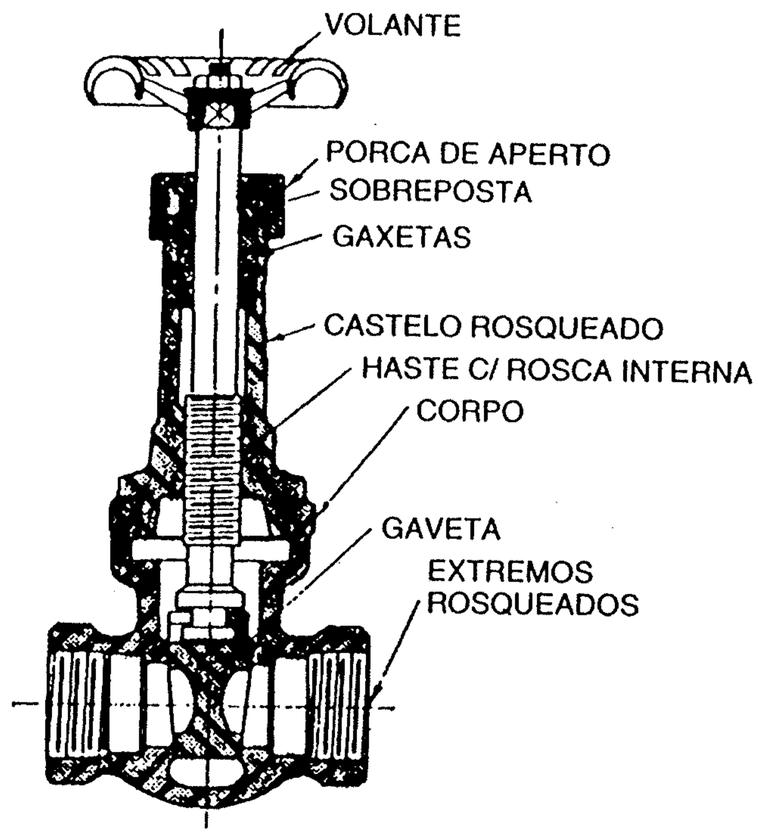


Fig. 4.2 Válvula de gaveta, pequena, castelo rosqueado, tipo "RS". (*Cortesia da Walworth Company.*)

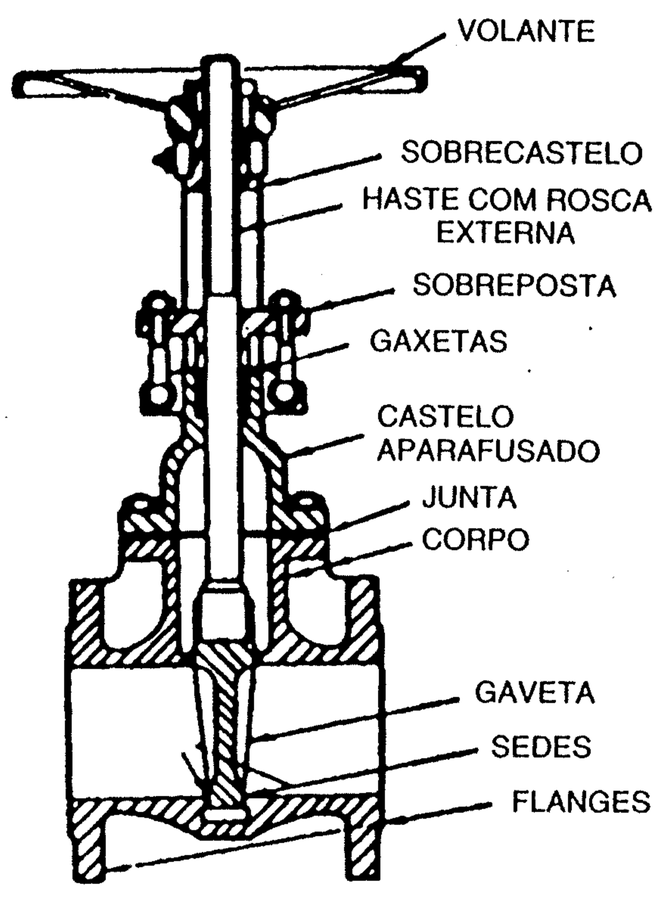


Fig. 4.3 Válvula de gaveta, grande, castelo aparafusado, tipo "OS & Y". (*Cortesia da Walworth Company.*)

*Veja Item 3.14.

—Válvulas encamisadas (jacketed valves), com camisa externa de vapor, empregadas para fluidos viscosos, que exijam um aquecimento constante e controlado, ou um aquecimento mais eficiente. No caso geral de fluidos aquecidos, é mais usual e mais econômico o uso de válvulas comuns, com aquecimento externo, como será referido no Cap. 16, deste livro.
—Válvulas aletadas, com aletas integrais no corpo e no castelo, empregadas para serviços em que seja necessária dissipação de calor.
—Válvulas usinadas de barras (bar stock valves), empregadas em diâmetros pequenos e altas pressões. Fabricam-se correntemente por esse sistema válvulas de gaveta, de globo, de agulha e de retenção, tanto de aço como de alguns metais não-ferrosos. Essas válvulas têm freqüentemente extremidades para ligação de compressão.

Mecanismo interno e gaxetas — O mecanismo móvel interno da válvula (haste, peças de fechamento) e as sedes, no orifício da válvula, onde o mesmo se assenta, chama-se "trim" da válvula. Essas peças, que são as partes mais importantes da válvula, estão sujeitas a grandes esforços mecânicos e devem ter uma usinagem cuidadosa para que a válvula tenha fechamento estanque; além disso, não podem sofrer desgaste por corrosão ou erosão nem deformações por fluência, que comprometeriam a estanqueidade — ou o próprio funcionamento — da válvula. Por todas essas razões é freqüente que o trim da válvula seja feito de um material diferente e mais nobre do que o da carcaça.

Na maioria das válvulas, a haste atravessa o castelo, saindo para fora do corpo da válvula, havendo assim a necessidade de um sistema de vedação para evitar vazamentos pela haste. Para as válvulas de uso corrente, esse sistema consiste em uma caixa de gaxeta convencional, com sobreposta e parafusos de aperto (Fig. 4.3), no caso das válvulas para serviços severos (em qualquer diâmetro), ou das válvulas grandes (2″ ou maior), para qualquer serviço. Para as válvulas pequenas em serviços não severos pode-se ter uma caixa de gaxeta com porca de aperto, em lugar da sobreposta (Fig. 4.2). As válvulas para alguns serviços especiais em que haja exigência de maior segurança contra vazamentos podem ter anéis retentores ou engaxetamento de fole. Quando a haste é rosqueada (como acontece na maioria das válvulas), a rosca deve, de preferência, estar por fora da gaxeta, para permitir a lubrificação da rosca com a válvula em operação, e também para manter a rosca da haste fora do contato com o fluido, que pode, muitas vezes, danificar a rosca por corrosão. Nas válvulas pequenas, de baixa pressão, a rosca costuma ser interna, por dentro da gaxeta, por ser um sistema de construção mais barata.

As válvulas para temperaturas muito baixas (serviços criogênicos) têm uma construção especial com a haste de grande comprimento, ficando assim o volante muito afastado do corpo da válvula, com a finalidade de dissipar a temperatura.

Extremidades das válvulas — Todas as válvulas são peças sujeitas à manutenção periódica — ou eventual substituição —, e por essa razão, em princípio, deveriam ser desmontáveis da tubulação. As primeiras válvulas empregadas em tubulações industriais eram, quase todas, rosqueadas, quando de diâmetros pequenos, ou flangeadas, quando de tamanhos maiores. Tanto as válvulas rosqueadas como as flangeadas são facilmente desmontadas da tubulação para reparos ou substituição.

Com o desenvolvimento dos processos de solda, passaram também a ser bastante empregadas as válvulas com extremidades para solda de encaixe e para solda de topo. A desmontagem dessas válvulas é bem mais difícil, mas, em compensação, é menor o risco de vazamentos na tubulação. São os seguintes os casos de emprego dos principais tipos de extremidade das válvulas, de acordo com a prática corrente:

a) Extremidades flangeadas — Sistema usado em quase todas as válvulas, de qualquer material, empregadas em tubulações industriais de 2″ ou maiores. Para ferro fundido, os flanges são sempre de face plana; para aço, os flanges são de face com ressalto ou face para junta de anel, de acordo com as condições de serviço, como detalhado no Item 3.7.

b) Extremidades para solda de encaixe — Sistema usado principalmente em válvulas de aço, de menos de 2″, empregadas em tubulações ligadas por solda de encaixe. É importante que o corpo dessas válvulas seja sempre do mesmo material dos tubos, ou de material do mesmo "Número P", como definido na norma ASME B.31 (veja nota de rodapé da p. 25), para evitar soldas dissimilares.

Quando existirem elementos não-metálicos (retentores, sedes de válvulas etc.), essas peças devem ser retiradas da válvula por ocasião da soldagem na tubulação, para evitar que sejam danificadas pelo calor da solda.

c) Extremidades rosqueadas — Sistema usado em válvulas de 4″ ou menores, empregadas em tubulações em que se permitam ligações rosqueadas.

d) Extremidades para solda de topo — Sistema usado em válvulas de aço, de mais de 2″, em serviços onde seja necessária uma segurança absoluta contra vazamentos, como por exemplo nos seguintes casos:

—Serviço com hidrogênio ou outros fluidos muito perigosos.
—Vapor em tubulações de classe de pressão 1.500 #, ou acima (veja Item 3.8).
—Serviços gerais em temperaturas acima de 550°C.

Valem para essas válvulas as mesmas observações sobre o material do corpo — para evitar soldas dissimilares — e sobre peças internas não-metálicas, feitas para as válvulas para solda de encaixe.

e) Existem ainda outros tipos de extremidades de válvulas, tais como:

—Extremidades com bolsas, para tubulações de ferro fundido com ligações de ponta e bolsa.

— Extremidades sem flanges, tipo "wafer" e tipo "lug" — São sistemas econômicos de carcaças de válvulas, destinadas a ser colocadas entre dois flanges da tubulação, empregados principalmente para válvulas de borboleta, e também para alguns tipos de válvulas de retenção e de esfera, sempre em diâmetros de 3″, ou maior, e para baixas pressões e temperaturas moderadas. A Fig. 4.25 mostra uma válvula com extremidades tipo "wafer", para a qual os parafusos dos flanges passam por fora e em volta do corpo da válvula. Para as válvulas com extremidades tipo "lug", o corpo da válvula tem algumas orelhas — na posição dos parafusos dos flanges —, onde se encaixam parafusos que servem para colocar a válvula na posição correta.
— Extremidades para ligações de compressão.

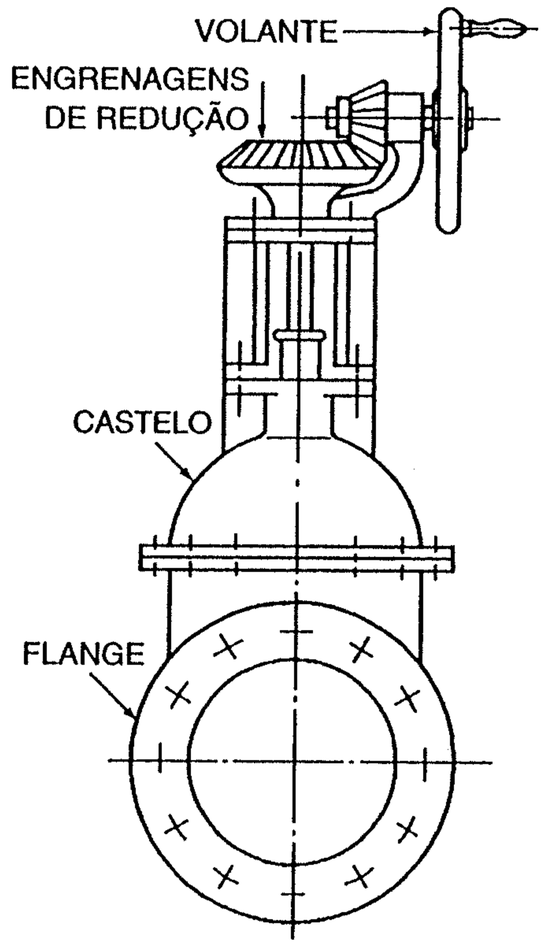


Fig. 4.4 Válvula de gaveta com redução de engrenagens.

4.4 Meios de Operação das Válvulas

Há uma variedade muito grande de sistemas usados para a operação das válvulas; os principais são os seguintes:

1. *Operação Manual* { Por meio de volante. / Por meio de alavanca. / Por meio de engrenagens, parafusos sem-fim etc.
2. *Operação Motorizada* { Pneumática. / Hidráulica. / Elétrica
3. *Operação Automática* { Pelo próprio fluido (por diferença de pressões gerada pelo escoamento). / Por meio de molas ou contrapesos

A operação manual é o sistema mais barato e mais comumente usado; emprega-se em todas as válvulas que não sejam automáticas e para as quais não se exija operação motorizada.

O fechamento das válvulas corresponde sempre à rotação da haste no sentido dos ponteiros do relógio, para quem olha a haste do extremo para o corpo da válvula. As válvulas com operação manual que tenham movimentação freqüente, devem ter volante com engrenagens de redução (Fig. 4.4), ou com parafuso sem fim, para tornar a operação mais leve e mais fácil, quando o diâmetro nominal exceder os seguintes limites práticos:

Classes de pressão	150 #	e 300 #	:	12″
Classes de pressão	600 #	e 900 #	:	8″
Classe de pressão	1500 #		:	6″
Classe de pressão	2500 #		:	4″

Para evitar enganos e facilitar a operação, as engrenagens de redução devem ser de tal forma que mantenham o mesmo sentido de rotação do volante para o fechamento da válvula.

Para a operação manual de válvulas situadas fora do alcance do operador utilizam-se volantes ou alavancas com correntes, para válvulas de 2″ ou maiores, colocadas acima do operador, e hastes de extensão, para válvulas, de qualquer diâmetro que estejam relativamente próximas, porém fora do alcance do operador, podendo estar acima, abaixo, ou no mesmo nível do operador. As hastes de extensão podem ter juntas universais ou engrenagens cônicas, para realizar mudanças de direção, e também pedestais para a manobra do volante e mancais intermediários de guia, quando a haste for de grande comprimento (Fig. 4.5).

Os volantes para corrente têm uma coroa dentada onde se engrenam os elos da corrente; deve haver sempre um dispositivo de guia que impeça o desengate e a queda da corrente. Não se recomenda o emprego de volante com corrente para válvulas de operação freqüente.

Denomina-se operação motorizada aquela em que existe uma força motriz externa (não manual) que comanda a operação da válvula. Esses sistemas de operação são empregados nos seguintes casos:

— Válvulas comandadas por instrumentos automáticos.
— Válvulas situadas em locais inacessíveis, ou de difícil acesso, de grande desconforto ou de risco elevado para o operador.
— Válvulas de operação freqüente, recomendando-se a operação motorizada quando o diâmetro nominal da válvula exceder os seguintes limites:

Classe de pressão 150 #: Diâmetro nominal de 16″, ou maior

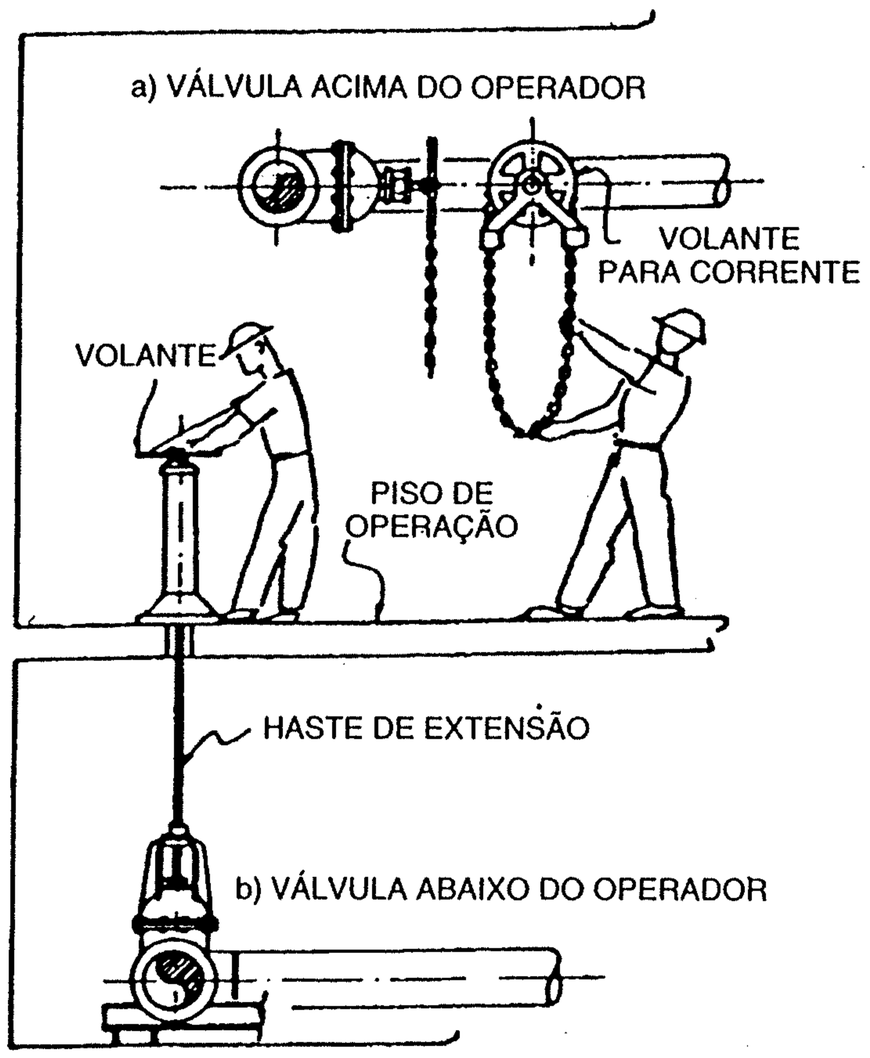


Fig. 4.5 Válvulas com volante com corrente e com haste de extensão.

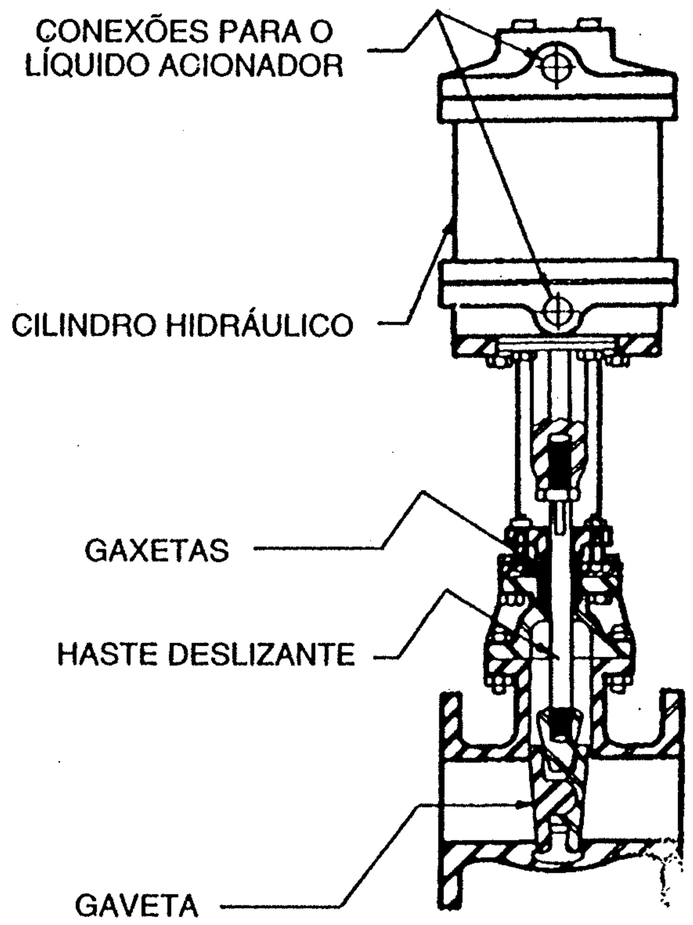


Fig. 4.6 Válvula comandada por cilindro hidráulico. (*Cortesia da Walworth Company.*)

Classes de pressão 300 # e 400 #: Diâmetro nominal de 12″, ou maior
Classes de pressão 600 # e 900 #: Diâmetro nominal de 10″, ou maior
Classes de pressão 1.500 #, ou acima: Diâmetro nominal de 8″, ou maior

As classes de pressão são como definido pela norma ASME B. 16.5, para flanges de aço (veja Item 3.8).

— Válvulas para cuja operação seja exigido um grande conjugado motor ou um número muito grande de voltas de volante.

A operação motorizada é também usada para o comando remoto de válvulas, recurso esse que pode ser recomendado principalmente em instalações em que as válvulas sejam em grande número e de operação freqüente. Com o comando remoto pode-se centralizar o comando de todas as válvulas em um único local, simplificando e evitando erros de operação.

Nos sistemas de operação motorizada hidráulica ou pneumática, a haste da válvula é comandada diretamente por um êmbolo ou um diafragma sujeitos à pressão de um líquido ou de ar comprimido. O comando hidráulico (Fig. 4.6), bastante mais raro na prática do que o camando pneumático, é usado quase somente para válvulas muito grandes. A operação motorizada pneumática é o sistema mais usado nas válvulas comandadas por instrumentos automáticos (Fig. 4.23), como veremos no Item 4.10, referente às válvulas de controle.

É preciso não confundir válvulas comandadas por instrumentos automáticos com válvulas de operação automática. Nas válvulas comandadas por um instrumento, o que é automático é o conjunto instrumento-válvula, e não a válvula em si, que é de operação motorizada, isto é, necessita de uma força motriz externa para a sua operação. O instrumento mede ou controla uma grandeza qualquer em um ponto de sistema (pressão, temperatura, vazão, nível etc.), e caso haja desvio nessa grandeza em relação ao valor normal, o instrumento emite um sinal pneumático, elétrico ou eletrônico, que comanda a operação da válvula; a válvula, por sua vez, atua regulando o fluxo na tubulação, tendendo a corrigir o valor da grandeza controlada.

As válvulas de operação automática, que veremos a seguir, são auto-suficientes, não exigindo comando manual nem força motriz externa para a sua operação.

Dois sistemas de operação motorizada elétrica são de uso corrente:

1. Motor elétrico acionando o volante da válvula por meio de engrenagens de redução. Esse sistema é usado em válvulas de grandes dimensões, para tornar a operação mais fácil e mais rápida, em válvulas situadas em locais inacessíveis, e também para o comando remoto centralizado de grande número de válvulas.

2. Solenóide cujo campo magnético movimenta diretamente, por atração, a haste da válvula, abrindo ou fechando a válvula. Esse sistema é usado apenas para pequenas válvulas, freqüentemente comandadas por relés elétricos ou por instrumentos automáticos.

Qualquer que seja o sistema de operação motorizada, o dispositivo ou motor de comando da válvula, é chamado de "atuador" da válvula. Conforme as condições do ambiente onde se encontre, pode-se ter o atuador de construção especial à prova de tempo, à prova d'água, à prova de chama, à prova de poeiras, à prova de explosão, ou outras.

As válvulas de operação automática, como o próprio nome indica, são auto-suficientes, dispensando qualquer ação externa para o seu funcionamento. A operação automática pode ser conseguida pela diferença de pressões do fluido circulante (válvulas de retenção, por exemplo) ou pela ação de molas ou contrapesos, integrantes da própria válvula (válvulas de segurança e de alívio).

Muitas vezes as válvulas utilizam dois sistemas de operação diferentes, um para abrir e outro para fechar. São comuns, por exemplo, as válvulas com diafragma com ar comprimido ou solenóide para fechar e mola para abrir, ou viceversa, como o exemplo da válvula de controle da Fig. 4.23.

4.5 Válvulas de Gaveta

Esse é o tipo de válvula mais importante e de uso mais generalizado. Até há alguns anos atrás as válvulas de gaveta dominavam largamente a maior parte das válvulas de uso industrial, chegando a representar cerca de 75% do total. Depois, o desenvolvimento de outros tipos de válvulas de bloqueio, mais leves, mais rápidas e mais baratas (válvulas de esfera e de borboleta principalmente), fez com que a participação das válvulas de gaveta caísse bastante, estando entretanto, em média, ainda acima de 50% do total.

As válvulas de gaveta são as válvulas de bloqueio de líquidos por excelência, empregadas em quaisquer diâmetros, na maioria das tubulações de água, óleos e líquidos em geral, desde que não sejam muito corrosivos nem deixem muitos sedimentos ou tenham grande quantidade de sólidos em suspensão. São empregadas também em diâmetros acima de 8″, para bloqueio em tubulações de ar e de vapor.

Em qualquer um desses serviços, as válvulas de gaveta são usadas para quaisquer pressões e temperaturas.

O fechamento nessas válvulas é feito pelo movimento de uma peça chamada de gaveta, ou de cunha, em conseqüência da rotação da haste; a gaveta desloca-se paralelamente ao orifício da válvula e perpendicularmente ao sentido de escoamento do fluido (Figs 4.2, 4.3 e 4.6), e assenta-se sobre duas sedes, uma de cada lado.

Quando totalmente abertas, a trajetória de circulação do fluido fica reta e inteiramente desimpedida, de forma que a perda de carga causada é muito pequena. Essas válvulas só devem trabalhar completamente abertas ou completamente fechadas, isto é, são válvulas de bloqueio e não de regulagem. Quando parcialmente abertas, causam perdas de carga muito elevadas e também laminagem da veia fluida, acompanhada muitas vezes de cavitação e violenta corrosão e erosão. Podemos dar os seguintes valores médios dos comprimentos equivalentes de tubo para a perda de carga em válvulas de gaveta, embora esses valores variem bastante de um modelo para outro de válvula:

válvula totalmente	aberta:	12	diâmetros do tubo
válvula ¼	aberta:	35	"
válvula ½	aberta :	170	"
válvula ¼	aberta:	900	"

Observe-se que as válvulas de gaveta são sempre de fechamento lento, sendo impossível fechá-las instantaneamente: o tempo necessário para o fechamento será tanto maior quanto maior for a válvula. Essa é uma grande vantagem das válvulas de gaveta, porque assim evitam-se os efeitos — que podem ser desastrosos —, de golpes de ariete, conseqüentes da paralisação repentina da circulação de um líquido; com gases não existem golpes de ariete, porque são fluidos compressíveis.

As válvulas de gaveta dificilmente dão uma vedação absolutamente estanque (bubble-tight closing); entretanto, na maioria das aplicações práticas, tal vedação não é necessária. Diz-se que uma válvula dá uma vedação absolutamente estanque quando, com a válvula completamente fechada, submetendo-se um dos lados da válvula à máxima pressão de serviço, não há a menor queda de pressão, que seria causada por qualquer vazamento ou gotejamento através da válvula, ainda que insignificante.

As válvulas de gaveta, como têm o fechamento de metal contra metal, são consideradas de segurança em caso de incêndio, desde que os metais empregados sejam de alto ponto de fusão (mais de 1.100°C). Uma válvula qualquer é considerada à prova de fogo desde que seja capaz de manter a vedação mesmo quando envolvida por um incêndio. Por essa razão, válvulas com o corpo ou as peças internas de bronze, latões, ligas de baixo ponto de fusão, materiais plásticos etc. não são de segurança contra fogo, e não podem ser usadas onde se exija essa condição.

A gaveta das válvulas pode ser em cunha ou paralela. As gavetas em cunha são de melhor qualidade e dão, devido à ação de cunha, um fechamento mais seguro do que as gavetas paralelas. Na maioria das válvulas a gaveta é uma peça única maciça (Fig. 4.3); em algumas a gaveta é composta de duas peças que se encaixam entre si e se ajustam livremente sobre a sede (Fig. 4.6) dando um melhor fechamento. Nas válvulas de boa qualidade ou para serviços severos, as sedes são independentes e substituíveis, sendo a construção preferível os anéis integrais rosqueados no corpo da válvula.

As válvulas de gaveta de tamanho grande para altas pressões costumam ter, integral na válvula, uma pequena tubulação contornando a válvula (by-pass), fechada por uma válvula. Antes de se abrir a válvula principal abre-se a pequena válvula do contorno para equilibrar as pressões nos dois lados da gaveta, facilitando desse modo a operação da válvula. Recomenda-se o emprego de tubulação de contorno quando a pressão máxima de operação em MPa (ou em kg/cm^2), multiplicada pelo diâmetro nominal em polegadas, resultar em um valor superior a 65 (ou a 650).

As válvulas de gaveta não são recomendadas para velocidades de escoamento muito altas, isto é, muito acima dos valores usuais, nem para tubulações sujeitas a fortes e constantes vibrações, que podem fazer movimentar a gaveta. Essas válvulas também não são apropriadas para trabalho com líquidos com sedimentos ou sólidos em suspensão, que podem se depositar no sulco de sede da gaveta, dificultando ou impedindo o fechamento da válvula.

Empregam-se nas válvulas de gaveta três sistemas principais de movimentação da haste:

1. Haste ascendente com rosca externa ("outside screw and yoke" — OS & Y). É o sistema usual nas válvulas grandes para serviços severos(*) (Fig. 4.3). A haste tem apenas movimento de translação, e o volante apenas movimentação de rotação, sendo preso ao sobrecastelo por uma porca fixa. A rosca de haste é externa à válvula, estando assim fora do contato com o fluido. O trecho da haste que está acima do volante dá uma indicação visual imediata da posição de abertura ou de fechameto da válvula, sendo essa a principal vantagem desse sistema. A norma ASME B.31.1, para tubulações de vapor, exige que as válvulas de gaveta de mais de 3″, de classe de pressão nominal 600 #, ou maior, tenham esse tipo de movimentação de haste.

2. Haste e volante ascendentes ("rising stem" — RS). É a disposição mais usual em válvulas para serviços não severos. A haste, juntamente com o volante, tem movimentos de translação e de rotação, podendo a rosca da haste ficar dentro da válvula (Fig. 4.2). Não há indicação visual da posição de abertura ou fechamento da válvula.

3. Haste não ascendente ("non rising stem" — NRS). A haste, juntamente com o volante, tem apenas movimento de rotação. Somente a gaveta da válvula, que atarraxa na extremidade inferior da haste, tem movimento de translação. É um sistema barato, de construção fácil, usado em válvulas pequenas de qualidade inferior.

As válvulas de gaveta de aço forjado e de aço fundido, para a indústria do petróleo e petroquímica, estão padronizadas pela norma EB-141 I, da ABNT.

Variantes das Válvulas de Gaveta

1. *Válvulas de comporta ou de guilhotina* (slide valves) — São válvulas em que a gaveta é uma comporta que desliza livremente entre guias paralelas. Essas válvulas, que não dão fechamento estanque, são usadas em grandes diâmetros, para ar, gases e água em baixa pressão, e também em quaisquer diâmetros, para produtos espessos ou de alta viscosidade (pasta de papel, por exemplo), e para fluidos abrasivos.

2. *Válvulas de fecho rápido* (quick-acting valves) — Nessas válvulas a gaveta é manobrada por uma alavanca externa fechando-se com um movimento único de alavanca (Fig. 4.7). As válvulas de fecho rápido são usadas apenas em pequenos diâmetros (até 3″), em serviços em que se exija o fechamento rápido (enchimento de carros, vasilhames etc.), porque, pela interrupção brusca do movimento do fluido, podem causar violentos choques nas tubulações.

3. *Válvulas de passagem plena* (through conduit valves) — As válvulas de passagem plena, muito empregadas em oleodutos, têm uma gaveta volumosa e contendo um orifício exatamente do mesmo diâmetro interno da tubulação (Fig. 4.8). A válvula é construída de tal forma que, quando aberta, o orifício da gaveta fica em rigorosa continuação da tubulação, fazendo com que a perda de carga através da válvula seja extremamente baixa. Essa disposição tem ainda a vantagem de facilitar a limpeza mecânica interna da tubulação, bem como a passagem dos "pigs" de separação de fluidos, muito usados em oleodutos. A carcaça dessas válvulas tem uma protuberância inferior para alojar a gaveta quando a válvula estiver fechada.

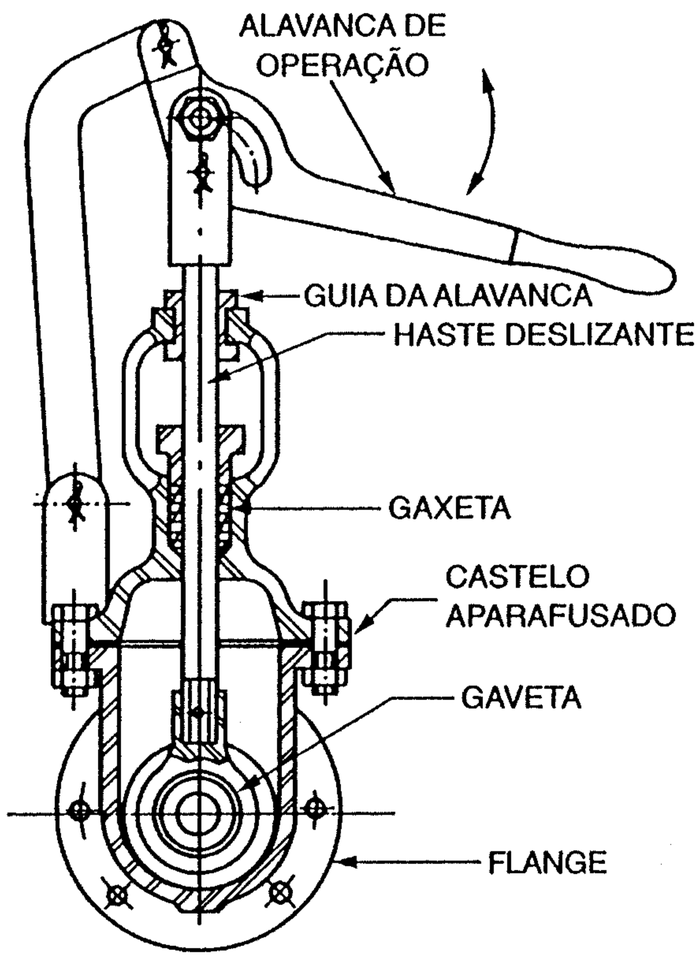


Fig. 4.7 Válvula de fecho rápido. (*Cortesia da Walworth Company.*)

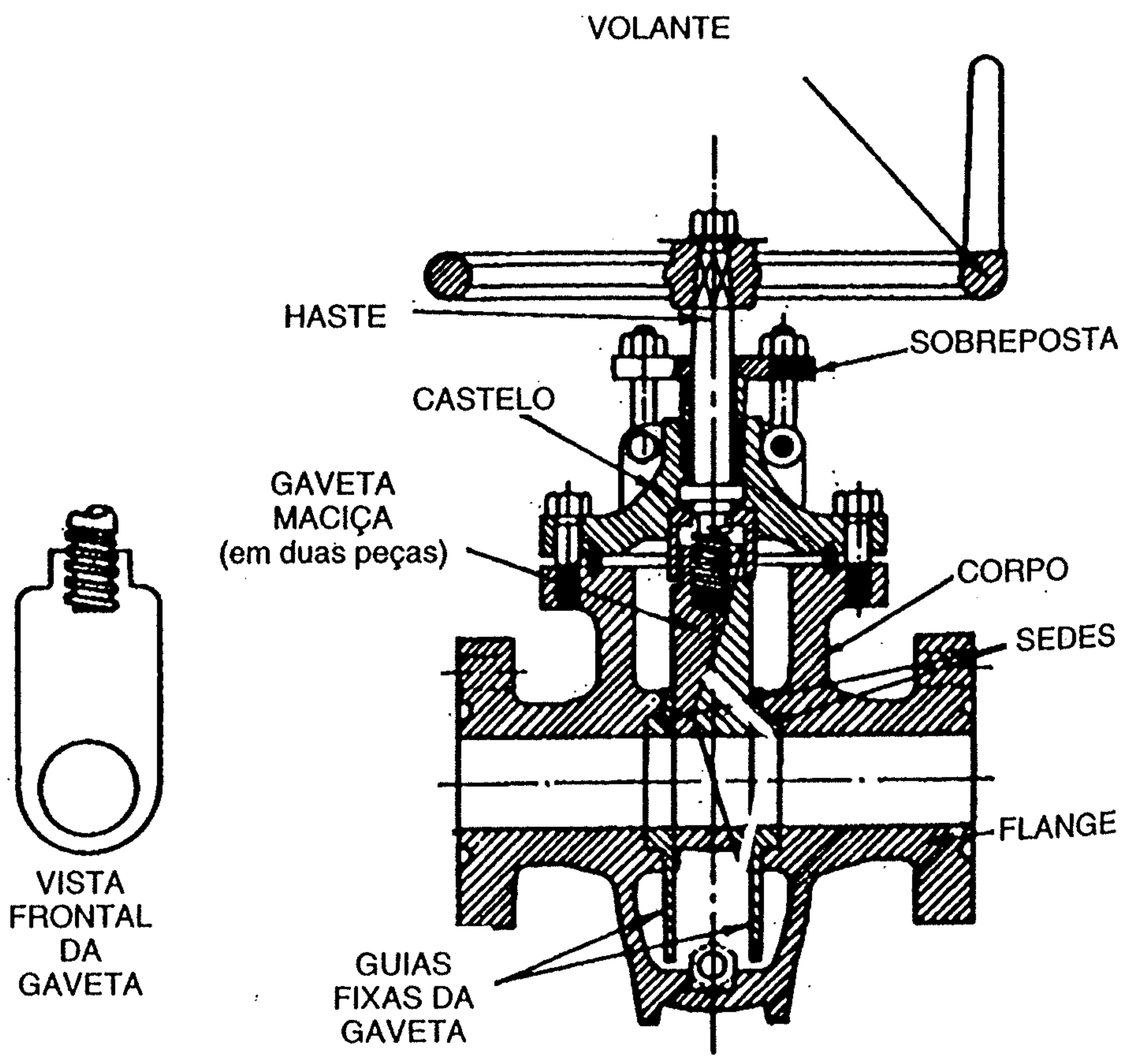


Fig. 4.8 Válvula de passagem plena. (*Cortesia de ACF Industries Inc — WKM Valve Division.*)

(*) Para a conceituação de "serviço severo" e "serviço de baixa responsabilidade", ou "não severo", veja Itens 3.14, 4.13 e Tab. 4.3.

4.6 Válvulas de Macho

As válvulas de macho representam em média cerca de 10% de todas as válvulas usadas em tubulações industriais. Aplicam-se principalmente nos serviços de bloqueio de gases (em quaisquer diâmetros, temperaturas e pressões), e também no bloqueio rápido de água, vapor e líquidos em geral (em pequenos diâmetros e baixas pressões). As válvulas de macho são recomendadas também para serviços com líquidos que deixem sedimentos ou que tenham sólidos em suspensão. Uma das vantagens dessas válvulas sobre as de gaveta, é o espaço ocupado muito menor.

Nessas válvulas o fechamento é feito pela rotação de uma peça (macho), onde há um orifício broqueado, geralmente de formato trapezoidal, no interior do corpo da válvula. São válvulas de fecho rápido, porque fecham-se com 1/4 de volta do macho ou da haste (Fig. 4.9). As válvulas de macho só devem ser usadas como válvulas de bloqueio, isto é, não devem funcionar em posições de fechamento parcial. Quando totalmente abertas, a perda de carga causada é bastante pequena, porque a trajetória do fluido é reta e livre.

O macho é quase sempre tronco-cônico, dispondo, exceto em válvulas muito pequenas, de um meio qualquer de ajustagem na sede, tal como mola, parafuso etc.

Existem dois tipos gerais de válvulas de macho: válvulas com e sem lubrificação. Nas válvulas com lubrificação há um sistema de injeção de graxa lubrificante sob pressão através do macho para melhorar a vedação e evitar que o macho possa ficar preso; são as válvulas geralmente empregadas em serviços com gases. O lubrificante usado deve ser tal que não se dissolva nem contamine o fluido conduzido. O macho tem sempre rasgos para a distribuição do lubrificante por toda superfície de contato com as sedes.

Fig. 4.9 Válvula de macho. (*Cortesia da Walworth Company.*)

As válvulas sem lubrificação, de boa qualidade, usadas para gases têm o macho e as sedes endurecidos e retificados, ou sedes removíveis de material resiliente (borracha, neoprene, PTFE etc.); essas últimas não são à prova de fogo, só podendo ser empregadas até o limite de temperatura permitido pelo material das sedes. Essas válvulas, que dão todas ótima vedação, são de uso mais raro do que as com lubrificação; empregam-se, por exemplo, para temperaturas mais altas (acima do limite mais tolerado pelos lubrificantes), ou também em serviços com fluidos para os quais não haja lubrificante adequado.

São comuns também válvulas de macho pequenas e baratas, não lubrificadas, chamadas de "torneiras" (cocks), nas quais o macho é integral com a haste; empregam-se as torneiras para drenos e outros serviços secundários com água, vapor e óleos.

As válvulas de macho com diâmetro nominal acima dos limites indicados a seguir devem ser operadas por meio de volante com parafuso sem fim; para diâmetros nominais até esses limites a operação é simplesmente por alavanca, como o exemplo da Fig. 4.9:

Classes de pressão 150 # e 400 #: Diâmetro nominal de 10″, ou maior
Classes de pressão 600 # e 900 #: Diâmetro nominal de 6″ ou maior
Classes de pressão 1.500 # ou acima: Diâmetro nominal de 4″ ou maior

As válvulas de macho são fabricadas em vários modelos:

— Modelo "regular", em que a área de passagem do macho é pelo menos 60% da área da seção transversal do tubo; fabricadas até os diâmetros de 10″ a 12″, conforme a classe de pressão.
— Modelo "curto", em que a distância de face a face é igual à das válvulas de gaveta; fabricadas somente nas classes de pressão 150 # e 300 #.
— Modelo "venturi", com área de passagem do macho pelo menos 50% da área da seção transversal do tubo; fabricadas somente em diâmetros de 8″, ou maiores.
— Modelo "passagem circular", com o orifício do macho em forma circular; fabricadas somente em diâmetros até 12″.

As válvulas de macho de aço forjado e de aço fundido, para a indústria do petróleo e petroquímica, estão padronizadas na norma EB.141 III, da ABNT.

Variantes das Válvulas de Macho

1. *Válvulas de esfera* — O macho nessas válvulas é uma esfera, que gira sobre um diâmetro, deslizando entre

anéis retentores de material resiliente não-metálico (materiais plásticos, borrachas, neoprene etc.) tornando a vedação absolutamente estanque (Fig. 4.10). O emprego das válvulas de esfera tem aumentado muito, principalmente como substitutas das válvulas de gaveta, em numerosos casos de bloqueio de líquidos e de gases. As vantagens das válvulas de esfera sobre as de gaveta são o menor tamanho e peso, melhor vedação, maior facilidade de operação e menor perda de carga (comprimento equivalente de 3 diâmetros, quando completamente abertas). Essas válvulas são também melhores para fluidos que tendem a deixar depósitos sólidos, por arraste, polimerização, coagulação etc.: A superfície interna lisa da válvula dificulta a formação desses depósitos, enquanto que, para a válvula de gaveta, o depósito de sólidos pode impedir o fechamento completo ou a própria movimentação da gaveta.

As válvulas de esfera convencionais não são adequadas para serviços em temperaturas elevadas, devido à limitação de temperatura dos anéis retentores não-metálicos. Existem, entretanto, algumas válvulas de esfera que são "à prova de fogo", contendo dispositivos especiais de dupla sede garantindo boa vedação, mesmo no caso de destruição dos anéis retentores, estando a válvula envolvida por um incêndio. Note-se que a condição de incêndio é uma situação anormal de emergência, não devendo também essas válvulas trabalhar em temperatura acima da admissível pelo material dos anéis retentores.

As válvulas de esfera podem ser de "passagem plena" ou de "passagem reduzida"; nas primeiras, o orifício da válvula é equivalente à seção interna do tubo e, nas outras, é menor. Essas últimas são bastante usadas por motivo de economia.

Existem também válvulas desse tipo que têm o furo na esfera em forma de "V" e que podem ser empregadas tanto para bloqueio como para regulagem.

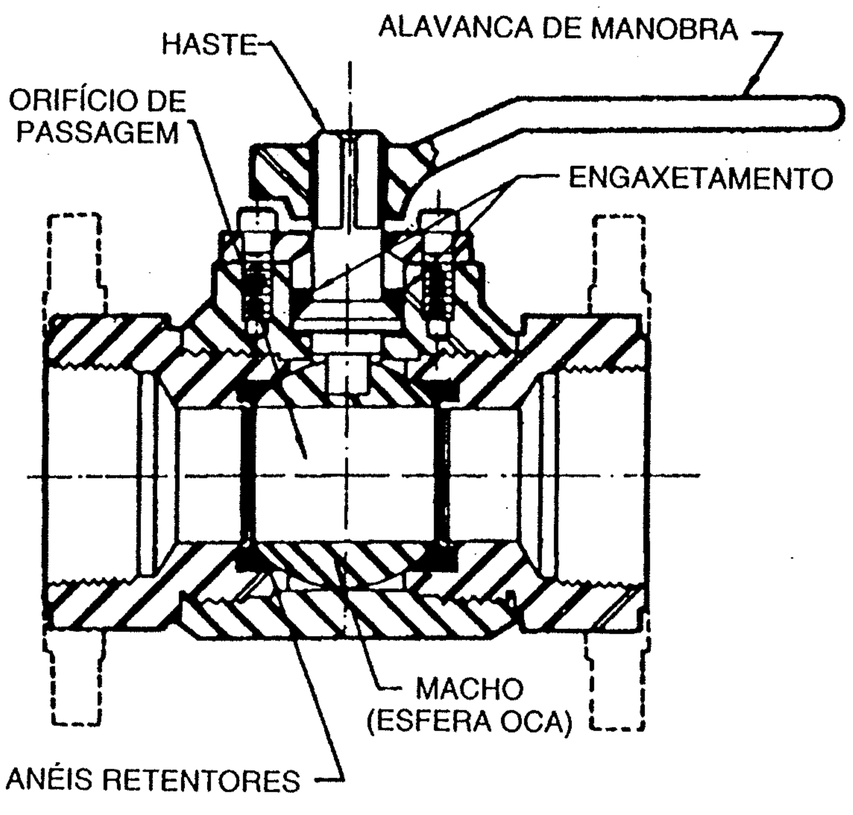


Fig. 4.10 Válvula de esfera. (*Cortesia da WKM Valve Division — ACF Industries.*)

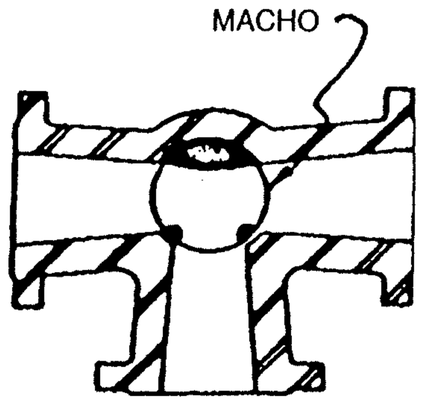


Fig. 4.11 Válvula de 3 vias. (*Cortesia de WKM Valve Division — ACF Industries.*)

Tanto as válvulas de macho como as de esfera são muito facilmente adaptáveis à operação por meio de atuadores pneumáticos ou elétricos, com comando remoto.

Devido ao formato geométrico simples do corpo dessas válvulas, é fácil a aplicação de revestimentos internos anticorrosivos, existindo válvulas de esfera com vários tipos de revestimentos já aplicados.

As válvulas de esfera de aço forjado e de aço fundido, para a indústria do petróleo e petroquímica estão padronizadas na norma EB. 141 II, da ABNT.

Existem ainda válvulas de esfera com sedes metálicas atuadas por molas, para emprego em casos muito especiais, tais como temperaturas elevadas, fluidos abrasivos etc. São válvulas de custo elevado e que exigem uma especificação de compra muito detalhada.

2. *Válvulas de 3 ou 4 vias* (three & four way valves) — O macho nessas válvulas é furado em "T", em "L" ou em cruz, dispondo a válvula de 3 ou 4 bocais para ligação às tubulações (Fig. 4.11). As válvulas de 3 e 4 vias são fabricadas e empregadas apenas em diâmetros pequenos, até 4".

4.7 Válvulas de Globo

Nas válvulas de globo o fechamento é feito por meio de um tampão que se ajusta contra uma única sede, cujo orifício está geralmente em posição paralela ao sentido geral de escoamento do fluido (Fig. 4.12). O tampão, também chamado de "obturador", pode ter a superfície de assentamento cônica, plana, esférica etc. As válvulas de globo podem trabalhar não só em posição aberta e fechada, como em qualquer posição intermediária de fechamento, isto é, são válvulas de regulagem(*). Causam, entretanto, em qualquer posição, fortes perdas de carga (comprimento equivalente de 300 a 400 diâmetros do tubo, quando completa-

(*) Diz-se que uma válvula pode operar como válvula de regulagem quando é possível estabelecer-se uma relação predeterminada de interdependência entre a percentagem de abertura da válvula e a percentagem de vazão, em qualquer posição de abertura parcial (veja Fig. 4.24). Isso é possível quando as seções de escoamento da válvula, em abertura parcial, são figuras geométricas semelhantes à figura da seção de abertura total. Nas válvulas de globo, por exemplo, todas as seções de escoamento são coroas circulares: já nas válvulas de gaveta (que não devem operar como válvulas de regulagem), as seções de abertura parcial têm forma de crescente, completamente diferentes da seção de abertura total, que é um círculo.

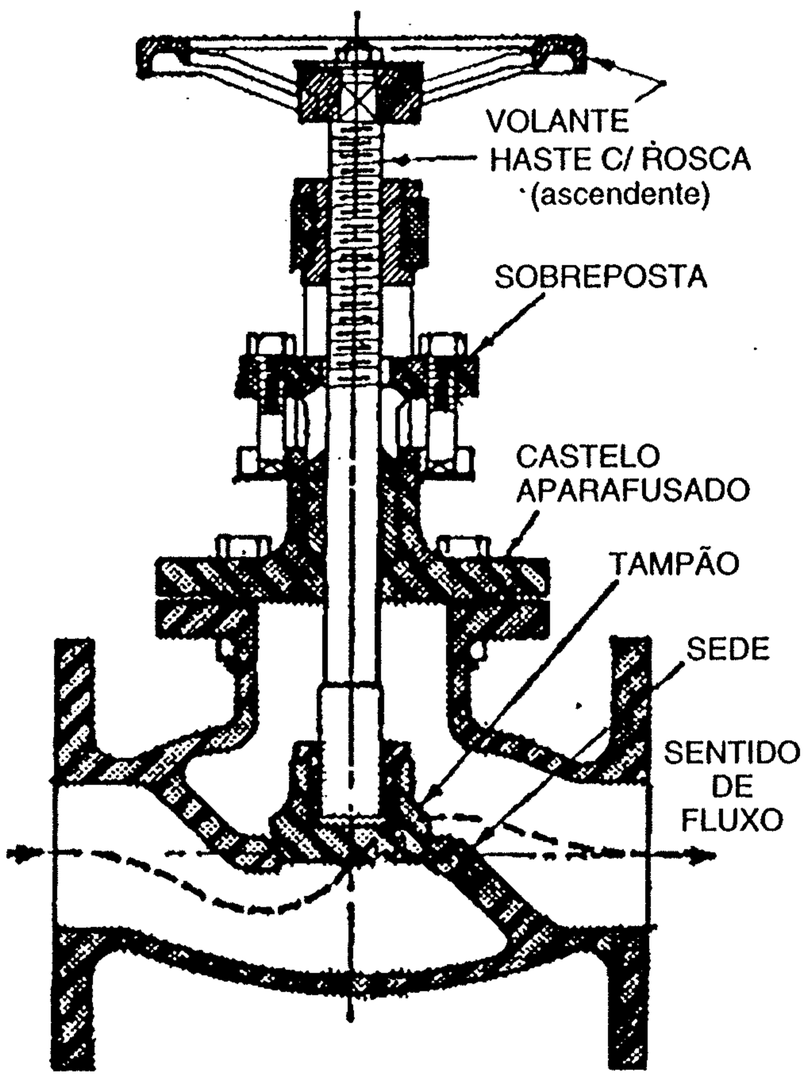


Fig. 4.12 Válvula de globo. (*Cortesia da Walworth Company.*)

mente abertas), devido às mudanças de direção e turbilhonamentos do fluido dentro da válvula(*).

As válvulas de globo dão uma vedação bem melhor do que as válvulas de gaveta, podendo-se conseguir, principalmente em válvulas pequenas, uma vedação absolutamente estanque. Na maioria das válvulas de globo o fechamento é de metal contra metal, o que torna essas válvulas à prova de fogo desde que todos os metais sejam de alto ponto de fusão (mais de 1.100°C). Em algumas válvulas, de tamanhos pequenos, tem-se o tampão com um anel não-metálico, de borracha, neoprene, plásticos etc. Essas válvulas, que estão limitadas às temperaturas de trabalho dos materiais não-metálicos do tampão, dão uma vedação muito boa e destinam-se, entre outras aplicações, a serviços com fluidos corrosivos. Exceto em válvulas pequenas e baratas, a sede costuma ser um anel substituível rosqueado no corpo da válvula.

Como regra geral, as válvulas de globo devem ser instaladas de forma que o fluido entre pela face inferior do tampão. Essa disposição tem a vantagem de poupar as gaxetas, porque a pressão não fica agindo permanentemente sobre elas, e também de permitir, em muitos casos, o reengaxetamento com a válvula em serviço. Para vapor e outros serviços em temperatura elevada há vantagem em que o fluido entre por cima do tampão, porque, com a disposição usual, haveria dilatação diferencial entre o corpo e a haste da válvula (haste mais fria), que tenderia a afrouxar o aperto do tampão com a sede.

As válvulas de globo de construção convencional, com o sentido de fluxo mostrado na Fig. 4.12, podem causar um considerável acúmulo de sedimentos embaixo do tampão de fechamento, sendo por isso desaconselhadas para tubulações onde haja presença de detritos e sendimentos. Para esses casos devem ser preferidas as válvulas de globo em "*Y*" (veja adiante neste item).

Quase todas as válvulas de globo têm haste e volante ascendentes (como explicado para as válvulas de gaveta, no Item 4.5); excepcionalmente poderão ter haste não ascendente. As válvulas de boa qualidade têm sempre a rosca da haste acima do engatamento, e assim fora do contato com o fluido (Fig. 4.12).

As válvulas de globo são usadas basicamente para serviço de regulagem em linhas de água, óleos, líquidos em geral (não muito corrosivos), bem como para vapor, ar e outros gases. Empregam-se também válvulas de globo para bloqueio em linhas de vapor, para diâmetros até 8″ (veja Item 8.4), e, em muitos casos, para o fechamento estanque em linhas de gases em geral.

Para todos esses serviços as válvulas de globo são empregadas para quaisquer pressões e temperaturas, em diâmetros até 8″. Não é usual o emprego de válvulas de globo em diâmetros maiores, porque seriam muito caras e dificilmente dariam uma boa vedação.

As válvulas de globo, de aço forjado e de aço fundido, para as indústrias de petróleo e petroquímica, estão padronizadas na norma EB-141 V e VI, da ABNT.

Variantes das Válvulas de Globo

1. *Válvulas angulares* (angle valves) — As válvulas angulares têm os bocais da entrada e de saída a 90°, um com o outro, dando por isso uma perda de carga bem menor do que as válvulas de globo normais (Fig. 4.13). Essas válvulas têm pouco uso em tubulações industriais porque uma válvula, em princípio, não deve sofrer os esforços aos quais as curvas e joelhos estão geralmente submetidos. Por essa razão, só se devem usar válvulas angulares, quando localizadas em uma extremidade livre da linha, principalmente tratando-se de linhas quentes.

2. *Válvulas em "Y"* — Essas válvulas têm a haste a 45° com o corpo, de modo que a trajetória da corrente fluida fica quase retilínea, com um mínimo de perda de carga (Fig. 4.14). Essas válvulas são muito usadas para bloqueio

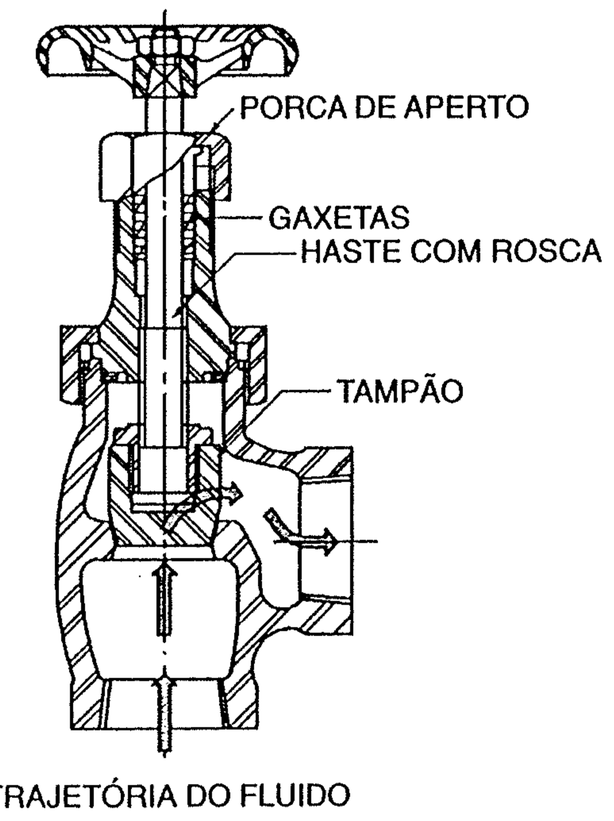


Fig. 4.13 Válvula angular. (*Cortesia da Walworth Company.*)

(*) Na linguagem popular, as válvulas de globo são erroneamente chamadas de registros.

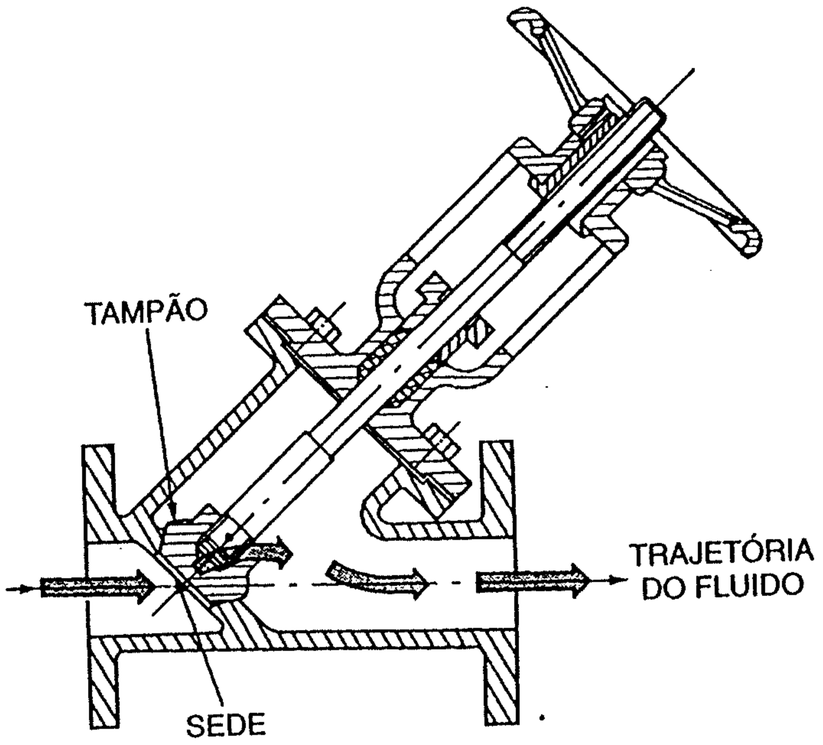


Fig. 4.14 Válvula em "Y". (*Cortesia da Walworth Company.*)

e regulagem de vapor, e preferidas também para serviços corrosivos e erosivos, e também para tubulações com presença de detritos e sedimentos, como é o caso, por exemplo, das linhas de descarga de fundo (blow-down) de caldeiras.

3. *Válvulas de agulha* (needle valves) — O tampão nessas válvulas é substituído por uma peça cônica, a agulha, permitindo um controle de precisão do fluxo (Fig. 4.15). São válvulas usadas para regulagem fina de líquidos e gases, em diâmetros até 2″; em princípio, a precisão da regulagem será tanto maior quanto mais agudo for o ângulo do vértice do tampão e maior o seu comprimento.

4.8 Válvulas de Retenção

Essas válvulas permitem a passagem do fluido em um sentido apenas, fechando-se automaticamente por diferença de pressões, exercidas pelo fuido em conseqüência do próprio escoamento, se houver tendência à inversão no sentido do fluxo. São, portanto, válvulas de operação automática.

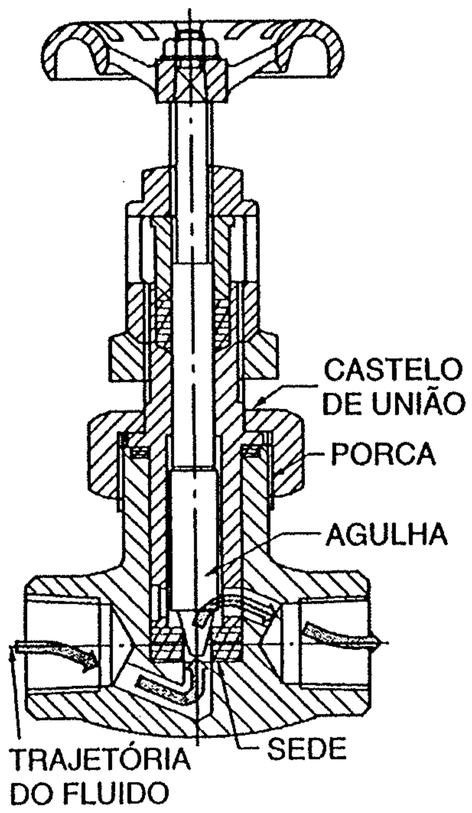


Fig. 4.15 Válvula de agulha. (*Cortesia da Walworth Company.*)

Empregam-se as válvulas de retenção quando se quer impedir em determinada linha qualquer possibilidade de retorno do fluido por inversão do sentido de escoamento. Como todas essas válvulas provocam uma perda de carga muito elevada, só devem ser usadas quando forem de fato imprescindíveis. Citaremos três casos típicos de uso obrigatório de válvulas de retenção (veja Item 12.2):

1. Linhas de recalque de bombas (imediatamente após a bomba) quando houver mais de uma bomba em paralelo descarregando no mesmo tronco. As válvulas de retenção servirão nesse caso para evitar a possibilidade da ação de uma bomba que estiver operando sobre outras bombas que estiverem paradas.

2. Linha de recalque de uma bomba para um reservatório elevado. A válvula de retenção evitará o retorno do líquido no caso de ocorrer uma paralisação súbita no funcionamento da bomba.

3. Extremidade livre da linha de sução de uma bomba, no caso de sistemas com sução não afogada; a válvula de retenção, denominada "válvula de pé'', deve estar suficientemente mergulhada no líquido do reservatório de sução, e servirá para manter a escorva na tubulação e na própria bomba, isto é, evitar o seu esvaziamento, durante o tempo em que a bomba estiver parada.

As válvulas de retenção devem sempre ser instaladas de tal maneira que a ação da gravidade tenda a fechar a válvula. Por esse motivo, quase todas essas válvulas (com exceção de alguns modelos de portinhola dupla com mola) só podem ser colocadas em tubos verticais ou inclinados, quando o fluxo for ascendente.

Existem três tipos gerais mais comuns de válvulas de retenção:

1. *Válvulas de retenção de portinhola* (swing-check valves) — É o tipo mais comum e usual de válvulas de retenção, para diâmetros nominais de 2″, ou maiores; o fechamento é feito por uma portinhola articulada que se assenta na sede da válvula. Devido à necessidade de fechamento por gravidade, existem modelos diferentes para instalação em tubulações horizontais (Fig. 4.16), ou verticais.

As perdas de carga causadas, embora elevadas, são menores do que as introduzidas pelas válvulas de retenção

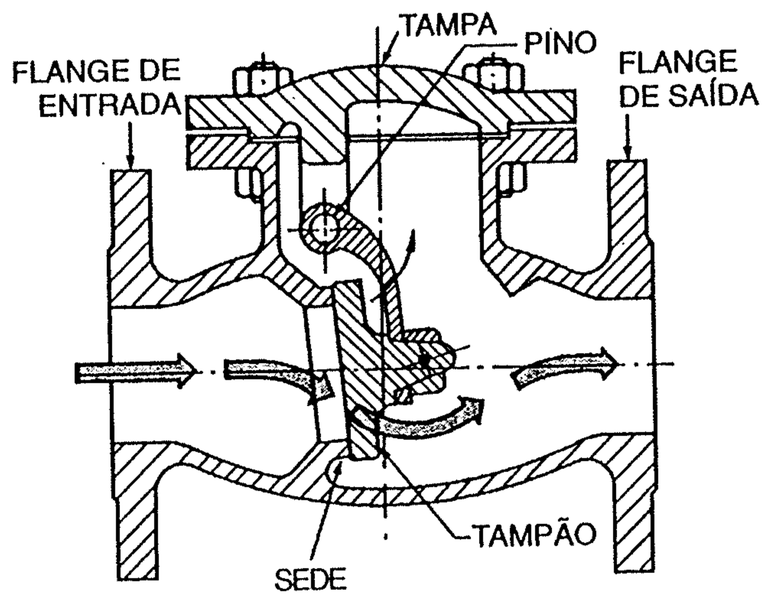


Fig. 4.16 Válvula de retenção de portinhola (para tubulação horizontal). (*Cortesia de Walworth Company.*)

de pistão (veja a seguir), porque a trajetória do fluido é retilínea. Essas válvulas são empregadas para serviços com líquidos; não devem ser usadas em tubulações sujeita a freqüentes inversões de sentido de fluxo, porque nesse caso têm tendência a vibrar fortemente (chattering).

Para diâmetros grandes, acima de 12″, essas válvulas costumam ter a portinhola balanceada, isto é, o eixo de rotação atravessa a portinhola que fica assim com uma parte para cada lado do eixo. A finalidade dessa disposição é amortecer o choque de fechamento da válvula quando houver inversão do fluxo.

Algumas válvulas de retenção desse tipo têm uma alavanca externa, com a qual a portinhola pode ser aberta ou fechada, à vontade, quando necessário.

Uma variante importante dessas válvulas são as válvulas de portinhola dupla bi-partida, conhecidas como "duo-check", muito empregadas principalmente para diâmetros grandes, até 1,2 m, ou mais. Nessas válvulas a portinhola é bi-partida e atuada por mola (não sendo assim necessária a ação da gravidade), o que permite, para algumas válvulas, trabalhar mesmo em tubos verticais com fluxo descendente. Um modelo muito usual das válvulas "duo-check" tem o corpo tipo "wafer", sem flanges, para ser instalado entre dois flanges da tubulação, com parafusos passando por fora e em torno do corpo da válvula (Fig. 4.17); têm a vantagem de menor peso, custo e espaço ocupado.

Existem ainda, de uso corrente, válvulas de retenção derivadas do modelo mostrado na Fig. 4.16, nas quais a peça de fechamento é uma lingüeta flexível de um material não-metálico (materiais plásticos, borrachas etc.), semelhante ao diafragma das válvulas de diafragma (veja Item 4.11.2). Por esse motivo, essas válvulas costumam ser denominadas de válvulas de retenção de diafragma. São empregadas em diâmetros pequenos (até 6″), para serviços corrosivos, tendo freqüentemente o corpo com um revestimento anticorrosivo.

2. *Válvulas de retenção de pistão* (lift-check valves) — O fechamento dessas válvulas é feito por meio de um tampão, semelhante ao das válvulas de globo, cuja haste desliza em uma guia interna. O tampão é mantido suspenso, afastado da sede, por efeito da pressão do fluido sobre a sua face inferior. É fácil de entender que caso haja tendência à inversão do sentido de escoamento, a pressão do fluido sobre a face superior do tampão aperta-o contra a sede, interrompendo o fluxo. Existem também modelos diferentes para trabalhar em posição horizontal (Fig. 4.18) e em posição vertical.

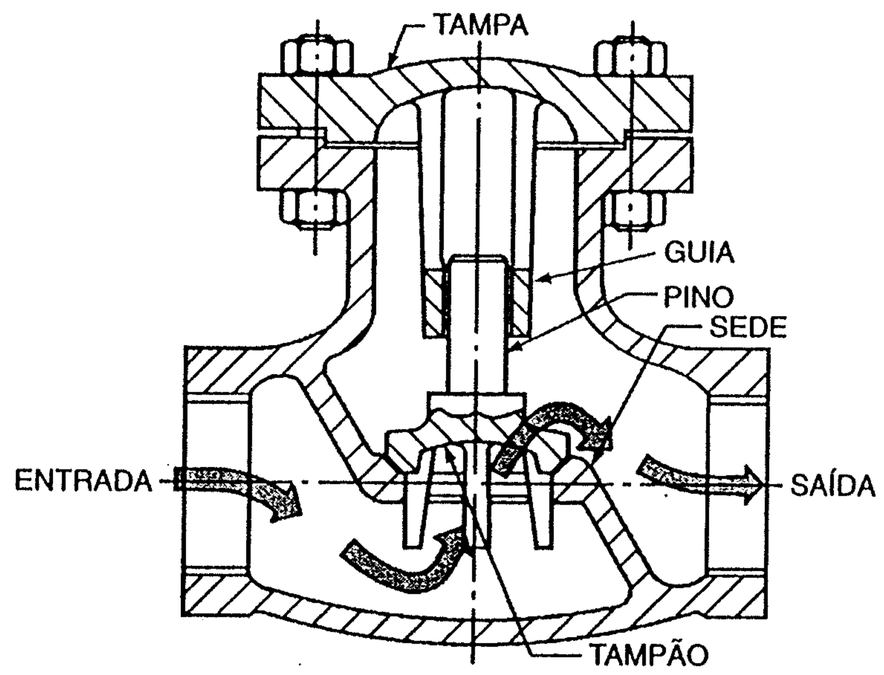


Fig. 4.18 Válvula de retenção de pistão (para tubulação horizontal). (*Cortesia da Walworth Company.*)

Todas essas válvulas causam perda de carga bastante elevada e por esse motivo são empregadas somente em pequenos diâmetros (em geral até 2″), e fabricadas no máximo até 6″ de diâmetro nominal.

As válvulas desse tipo são adequadas ao trabalho com gases e vapores. Não devem ser usadas para fluidos que deixem sedimentos ou depósitos sólidos. Essas válvulas podem ser empregadas para tubulações com fluxo pulsante ou sujeitas a vibrações.

3. *Válvulas de retenção de esfera* (ball-check valves) — São semelhantes às válvulas de retenção de pistão, sendo porém o tampão substituído por uma esfera (Fig. 4.19). É o tipo de válvula de retenção cujo fechamento é mais rápido. Essas válvulas, que são muito boas para fluidos de alta viscosidade, são fabricadas e usadas apenas para diâmetros até 2″.

Variantes das Válvulas de Retenção

1. *Válvulas de pé* (foot valves) — São válvulas de retenção especiais para manter a escorva nas linhas de suc-

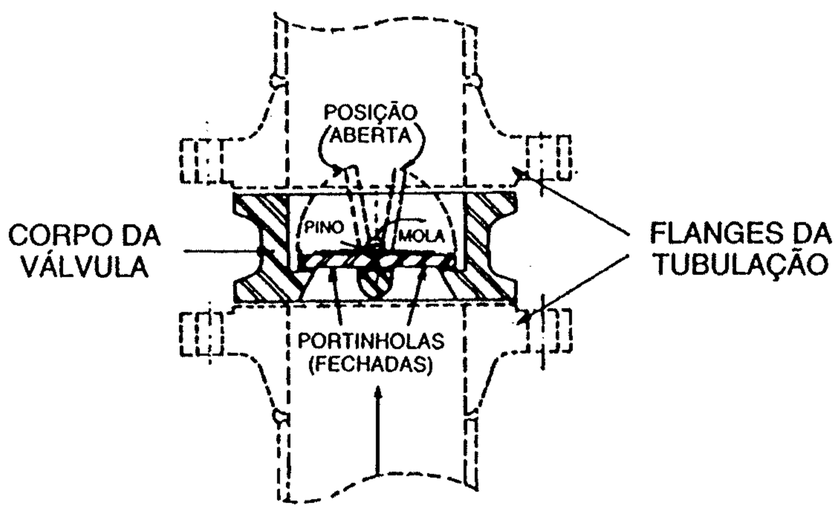


Fig. 4.17 Válvula de retenção de portinhola dupla.

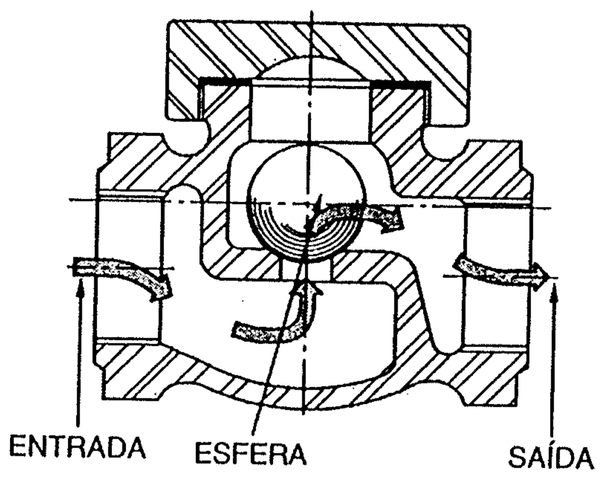


Fig. 4.19 Válvula de retenção de esfera (para tubulação horizontal). (*Cortesia da Walworth Company.*)

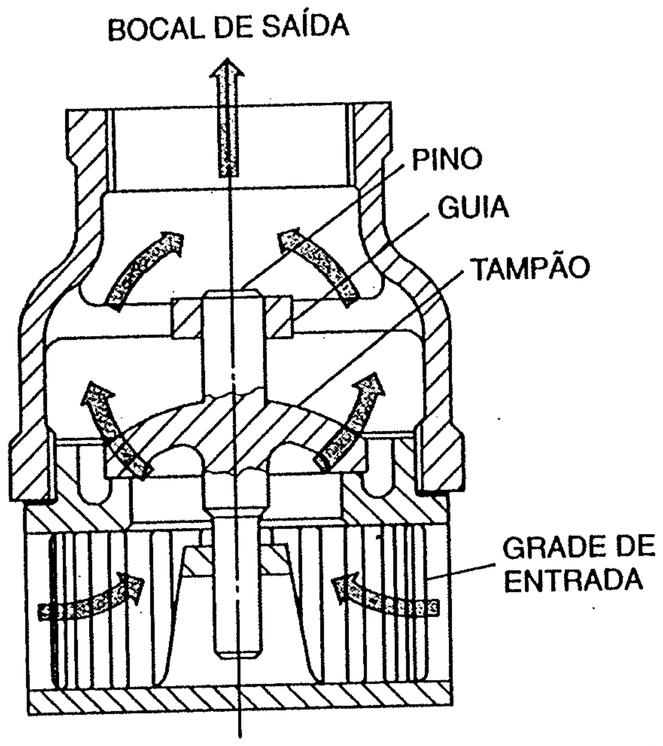


Fig. 4.20 Válvula de pé. (*Cortesia da Walworth Company.*)

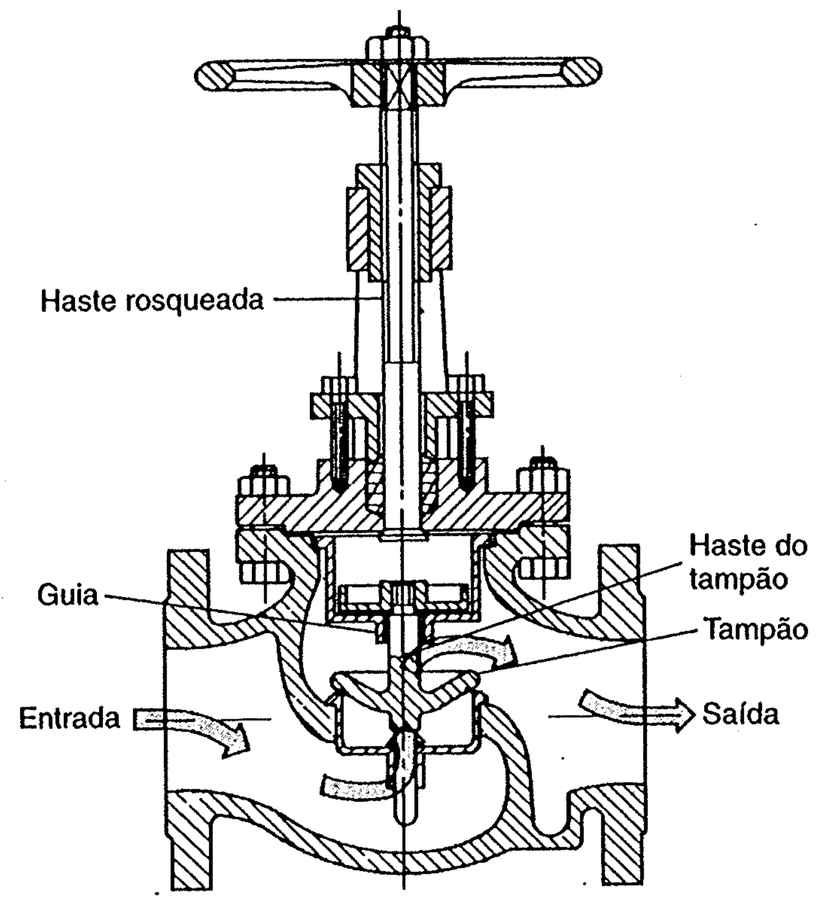


Fig. 4.21 Válvula de retenção e fechamento. (*Cortesia de Jenkins Bros. Ltd.*)

ção de bombas. Essas válvulas são semelhantes às válvulas de retenção de pistão, tendo geralmente no tampão um disco de material resiliente (plásticos, borracha etc.), para melhorar a vedação. Possuem geralmente uma grade externa para evitar a entrada de corpos estranhos na tubulação e na bomba (Fig. 4.20).

2. *Válvulas de retenção e fechamento* (stop-check valves) — São semelhantes às válvulas de globo, sendo o tampão capaz de deslizar sobre a haste. Na posição aberta, funcionam como válvula de retenção de pistão (Fig. 4.21), e na posição fechada funcionam como válvula de bloqueio. São empregadas nas linhas de saída de caldeiras.

4.9 Válvulas de Segurança e de Alívio (*)

Essas válvulas controlam a pressão a montante abrindo-se automaticamente, quando essa pressão ultrapassar um determinado valor para o qual a válvula foi calibrada, e que se denomina "pressão de abertura" da válvula (set-pressure). A válvula fecha-se em seguida, também automaticamente, quando a pressão cair abaixo da pressão de abertura.

A construção dessas válvulas é semelhante à das válvulas de globo angulares. O tampão é mantido fechado contra a sede pela ação de uma mola, com porca de regulagem (Fig. 4.22). Calibra-se a válvula regulando a tensão da mola de maneira que a pressão de abertura tenha o valor desejado.

A mola pode ser interna, dentro do castelo da válvula, ou externa, sendo que atualmente quase todas as válvulas têm a mola interna, por ser uma disposição construtiva mais fácil e mais segura. É importante que tanto a mola como a haste, a porca de regulagem, e demais peças internas da válvula sejam de materiais seguramente resistentes à corrosão pelo fluido. No passado foram muito empregadas válvulas com um contrapeso, de posição regulável, em lugar da mola; essas válvulas estão hoje em dia completamente obsoletas e desaparecidas.

Todas essas válvulas são chamadas "de segurança" quando destinadas a trabalhar com fluidos elásticos (vapor, ar, gases), e "de alívio" quando destinadas a trabalhar com líquidos, que são fluidos incompressíveis. A construção das válvulas de segurança e de alívio é basicamente a mesma; a principal diferença reside no perfil da sede e do tampão.

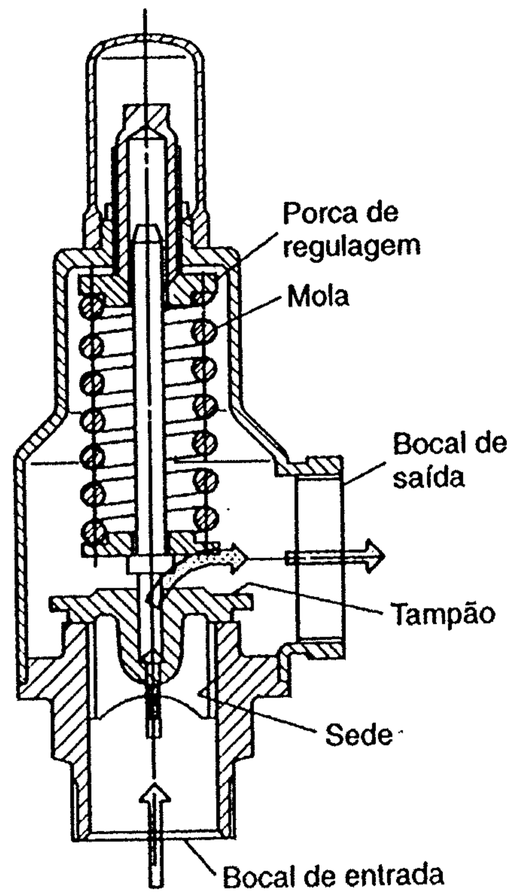


Fig. 4.22 Válvula de segurança. (*Cortesia de Dresser Industries Inc.*)

(*) Com colaboração do Eng.° Nantho Soares Botelho.

Devido à compressibilidade e à força elástica, para fazer cair a pressão de um gás é necessário que um grande volume do gás possa escapar em um tempo muito curto. Por essa razão, o desenho dos perfis da sede e do tampão nas válvulas de segurança é feito de tal forma que a abertura total se dê imediatamente após ser atingida a pressão de abertura. Nas válvulas de alívio, pelo contrário, a abertura é gradual, aumentando com o aumento de pressão, e atingindo o máximo com 110 a 125% da pressão de abertura, porque uma pequena quantidade de líquido que escape faz logo abaixar muito a pressão.

As válvulas de segurança devem ser instaladas sempre acima do nível do líquido, para que não sejam atravessadas pelo líquido. Estas válvulas costumam ter uma alavanca externa com a qual é possível fazer-se manualmente o disparo da válvula para teste.

Modernamente, foram desenvolvidas válvulas de segurança que tanto podem servir para líquidos como para gases (pop-safety valves), de forma que, para essas válvulas, a distinção entre válvulas de segurança e de alívio é de certa forma um conceito ultrapassado.

As válvulas de segurança podem descarregar direto para a atmosfera ou para um sistema fechado, adotando-se essa última disposição principalmente para fluidos muito valiosos ou fluidos que ofereçam grande risco. Na descarga para um sistema fechado haverá sempre uma contrapressão, atuando em sentido contrário à pressão de abertura, e que deverá ser compensada na calibragem da válvula. Quando a contrapressão ultrapassa um certo valor (10% da pressão de abertura, por exemplo), recomenda-se o emprego de válvulas com um fole de balanceamento, que envolve a mola, protegendo-a, e evitando o efeito da contrapressão sobre o tampão da válvula.

Uma variante importante são as válvulas de segurança atuadas por piloto, nas quais existe — integral na própria válvula — uma outra válvula de segurança de pequenas dimensões (válvula piloto). A pressão do fluido atua diretamente sobre a válvula piloto, que abrindo-se permite a despressurização de um atuador (geralmente um pistão ou diafragma), que, por sua vez, aciona o tampão da válvula principal, proporcionando o alívio de pressão do sistema, como desejado. Quando essa pressão voltar ao normal, o piloto pressurizará o atuador, fechando a válvula principal. A vantagem dessas válvulas é a sua muito maior precisão de calibragem, em relação a uma válvula convencional de mesma capacidade de vazão.

A norma API-RP-520, do "American Petroleum Institute", contém fórmulas e procedimentos de cálculo para o dimensionamento de válvulas de segurança e de alívio. As válvulas de segurança costumam ser identificadas dimensionalmente pelos diâmetros nominais dos bocais de entrada e saída e por uma letra convencional (de "D" a "T"), relacionada ao valor da área do orifício de descarga. Todas essas válvulas costumam ser consideradas como instrumentos, e não como componentes de tubulação.

As válvulas de quebra de vácuo (ou ventosas) destinadas a evitar a formação de vácuo em tubulações, são também semelhantes às válvulas de segurança, com a diferença de que se abrem de fora para dentro admitindo ar atmosférico, quando há um vácuo ou uma depressão na tubulação, em lugar de se abrirem de dentro para fora. Essas válvulas são empregadas principalmente para a proteção de tubulações de grande diâmetro e pequena espessura, nas quais a formação acidental de um vácuo pode causar o colapso em conseqüência da pressão atmosférica.

4.10 Válvulas de Controle (*)

"Válvula de controle" é um nome genérico para designar uma grande variedade de válvulas usadas em combinação com instrumentos automáticos, e comandadas à distância por esses instrumentos, para controlar a vazão ou a pressão de um fluido. A válvula tem sempre um atuador (pneumático, hidráulico, elétrico etc.) que comanda diretamente a peça de fechamento da válvula, e que por sua vez é comandado por um sinal (pressão de ar comprimido, por exemplo), enviado por um instrumento que está medindo a grandeza que se deseja controlar.

O corpo da válvula é quase sempre semelhante ao de uma válvula de globo. Para diminuir o esforço necessário à operação, e assim facilitar o controle, essas válvulas têm freqüentemente dois tampões superpostos na mesma haste, que se assentam em duas sedes colocadas de tal maneira que a pressão do fluido exercida sobre um tampão contrabalança a pressão exercida sobre o outro (Fig. 4.23).

É evidente que para qualquer tipo de válvula a percentagem de fluxo permitido é função da percentagem de abertura da válvula, isto é, existe sempre uma relação de interdependência entre o fluxo permitido e a posição de abertura: Quando a abertura é zero o fluxo também é zero; quando a abertura é 100% o fluxo é 100%. Nas posições intermediárias a percentagem de fluxo pode ser maior ou menor do que a percentagem da abertura, dependendo do tipo de válvula e dos perfis da sede e da peça de fechamento. A curva 1 da Fig. 4.24 representa a referida função para uma válvula de gaveta comum.(**) No caso das válvulas de controle, essa relação de interdependência é muito importante, por se tratar de válvulas destinadas à regulagem de precisão do fluxo em qualquer posição. Os tampões e sedes dessas válvulas têm por isso perfis especialmente projetados e cuidadosamente construídos para resultar em funções predeterminadas. Os perfis mais comuns são os de igual percentagem (curva 2) e os de abertura rápida (curva 3). As válvulas de controle são caracterizadas pelo valor de um coeficiente (coeficiente de vazão da válvula, Cv), que varia em função das dimensões da válvula e dos diver-

---

(*) Com colaboração do Eng.º Nantho Soares Botelho.

(**) A curva da válvula de gaveta está mostrada na figura somente para efeito de comparação com as outras curvas. As válvulas de gaveta não são válvulas de regulagem, e por isso não é possível estabelecer com relativa precisão uma curva desse tipo. Além do mais, as válvulas de gaveta só devem operar totalmente abertas ou totalmente fechadas.

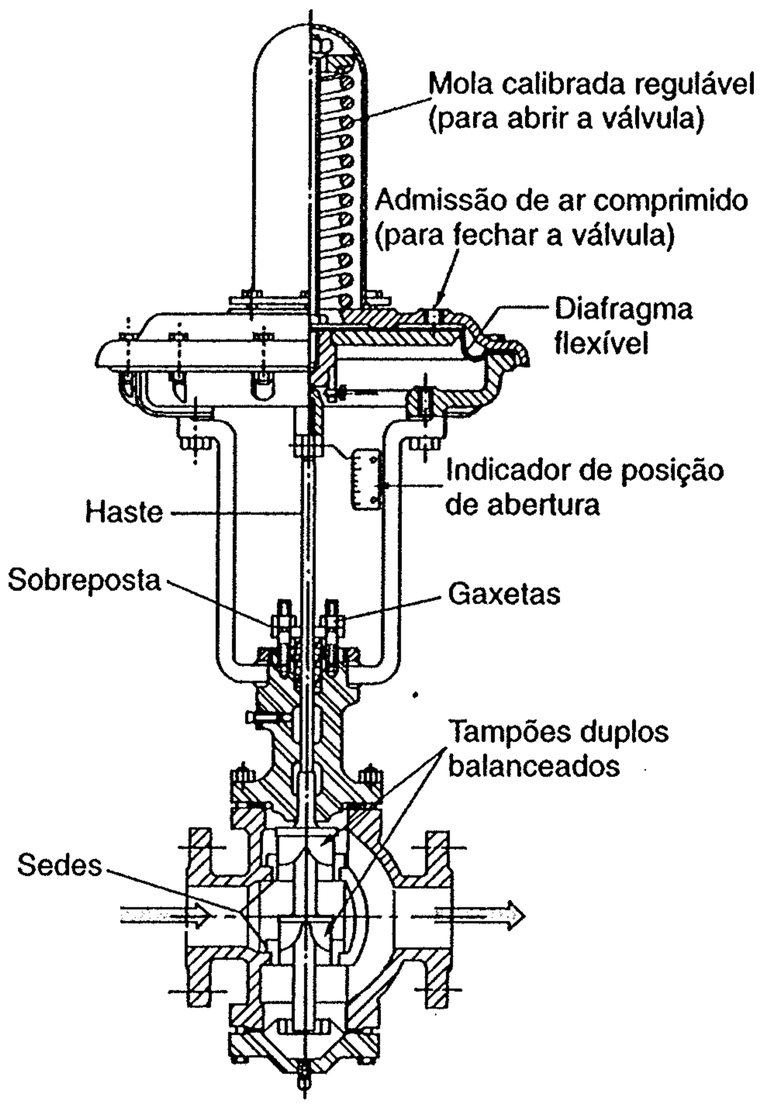


Fig. 4.23 Válvula de controle. (*Cortesia da The Foxboro Co.*)

sos tipos e modelos. Esse coeficiente, aplicado em fórmulas apropriadas, juntamente com outras variáveis relacionadas ao fluido e às condições operacionais, permite a seleção da válvula de controle adequada a cada caso, inclusive a determinação de seu diâmetro nominal, que será em muitos casos menor do que o diâmetro da tubulação.

A Fig. 4.23 mostra um modelo muito comum dessas válvulas, com atuador pneumático. Em geral, o atuador opera em um só sentido (para abrir ou para fechar), sendo a ação inversa feita por uma mola de tensão regulável. Na válvula da Fig. 4.23, a pressão do ar sobre a face superior do diafragma do atuador faz fechar a válvula, enquanto que a mola faz abrir. Procura-se sempre colocar a ação da mola no sentido da segurança, isto é, a mola abrirá ou fechará a válvula conforme a abertura ou o fechamento for a situação mais segura no caso de falha do sistema do atuador.

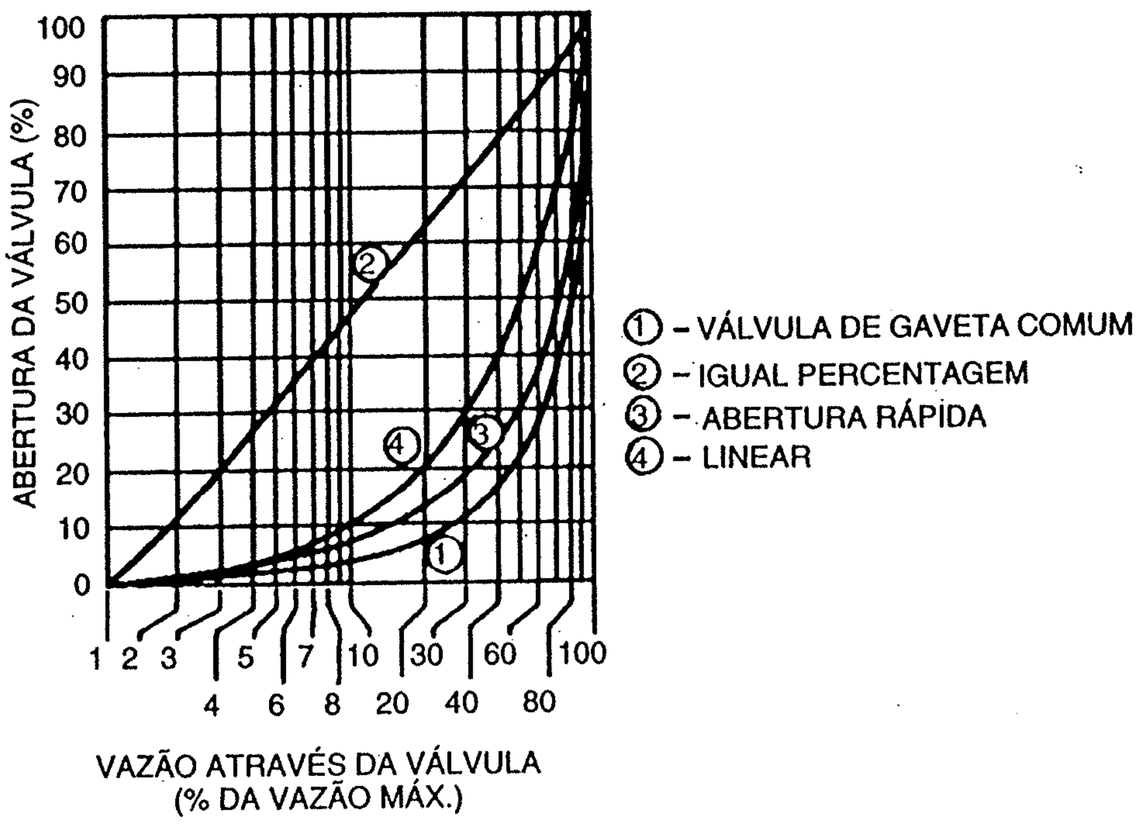


Fig. 4.24 Curvas características de fechamento de válvulas (percentagem de vazão permitida em função da percentagem de abertura).

Existem ainda válvulas de controle cujo corpo é uma válvula de esfera, com o furo na esfera em forma de "V", e outras com o corpo de válvulas de borboleta, de diafragma (vistas a seguir, no Item 4.11) etc.

As válvulas de controle, embora dificilmente dêem uma vedação perfeita, são sempre de construção e usinagem cuidadosas, e de materiais da melhor qualidade.

4.11 Outros Tipos Importantes de Válvulas

1. *Válvulas de borboleta* — As válvulas de borboleta são basicamente válvulas de regulagem, mas também podem trabalhar como válvulas de bloqueio. O fechamento da válvula é feito pela rotação de uma peça circular (disco), em torno de um eixo diametral, perpendicular à direção de escoamento do fluido. As válvulas mostradas na Fig. 4.25 são do tipo "wafer", que é um modelo leve e econômico, destinado a ser instalado entre dois flanges da tubulação, com os parafusos passando em torno do corpo da válvula. Existem também válvulas de construção convencional, com extremidades flangeadas, que são evidentemente mais pesadas, mais compridas e mais caras do que o modelo da figura. Essas últimas são empregadas para pressões mais altas e para diâmetros grandes, onde a montagem das válvulas do tipo "wafer" pode ser difícil.

Quase todas as válvulas de borboleta têm anéis de sede não-metálicos (PTFE, neoprene, buna N etc.), com os quais se consegue uma vedação muito boa. Algumas válvulas possuem um punho com catraca na alavanca, permitindo a fixação da alavanca nas posições aberta ou fechada, bem como em várias posições intermediárias. Existem também válvulas com sedes metálicas, que podem ser à prova de fogo.

As válvulas de borboleta são muito apropriadas para a aplicação de revestimentos anticorrosivos, tanto no corpo como no eixo e no disco de fechamento, podendo assim ser usadas em serviços de alta corrosão.

As válvulas de borboleta são empregadas principalmente para tubulações de grande diâmetro, baixas pressões e temperaturas moderadas, tanto para líquidos como para gases, inclusive para líquidos sujos ou contendo sólidos em suspensão, bem como para serviços corrosivos. Algumas válvulas de borboleta podem causar turbilhonamento e cavitação quando em posição ligeiramente aberta.

Existem tipos especiais de válvulas de borboleta cujo disco é excêntrico em relação ao eixo diametral da válvula e também à linha de centro da tubulação, podendo a válvula apresentar-se com formatos tronco-cônicos. Essas válvulas têm vedação bem superior às válvulas convencionais, permitindo o uso de sedes metálicas, e, conseqüentemente, o trabalho em temperaturas elevadas, com fluidos inflamáveis, e em classes de pressão até 600#. Essas válvulas são conhecidas como "borboletas tri-excêntricas".

O emprego das válvulas de borboleta tem aumentado muito, por serem leves e baratas, e também por serem facilmente adaptáveis a diversos tipos de atuadores e a comando remoto.

2. *Válvula de diafragma* — São válvulas sem engaxetamento, desenvolvidas especialmente para bloqueio e

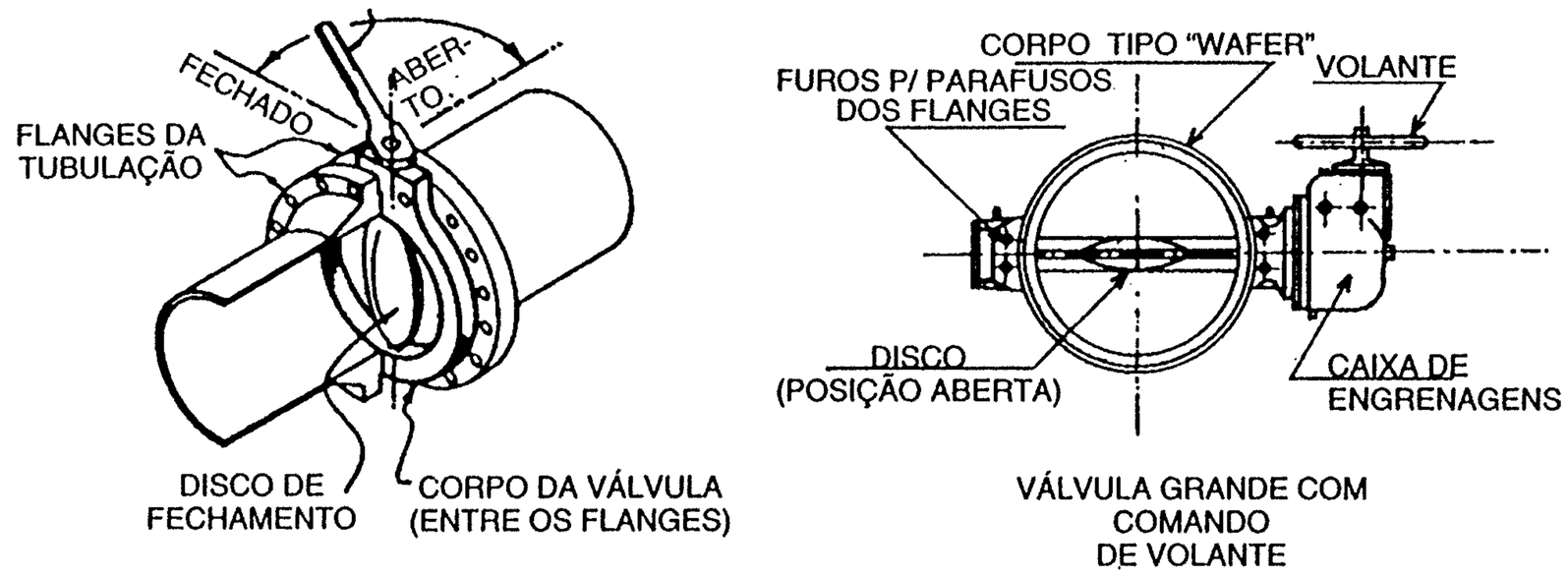


Fig. 4.25 Válvulas de borboleta (tipo "wafer").

regulagem de fluidos corrosivos, tóxicos, ou perigosos de um modo geral, bem como para fluidos muito voláteis, ou que exijam total segurança contra vazamentos. O fechamento da válvula é feito pela deformação de um diafragma não-metálico flexível, que é apertado contra a sede; o mecanismo móvel fica completamente fora do contato com o fluido, não necessitando assim de material resistente à corrosão. Como conseqüência, não há também risco de vazamentos pela haste (Fig. 4.26). Na maioria das válvulas a sede é em forma de barragem, como mostra a figura; existem também válvulas sem a barragem, denominadas de "passagem reta", próprias para serviços que necessitam eventualmente de desobstrução mecânica através da válvula.

As válvulas de diafragma são quase sempre válvulas pequenas (até 6″), freqüentemente com o corpo de materiais não-metálicos (materiais plásticos, por exemplo), ou de metais com revestimentos contra a corrosão (ebonite, borracha, plásticos, vidro, porcelana etc.). A temperatura limite de trabalho da válvula está em geral na dependência do material empregado no diafragma, que varia conforme o fluido conduzido (borracha natural, borrachas sintéticas, neoprene, PTFE etc.).

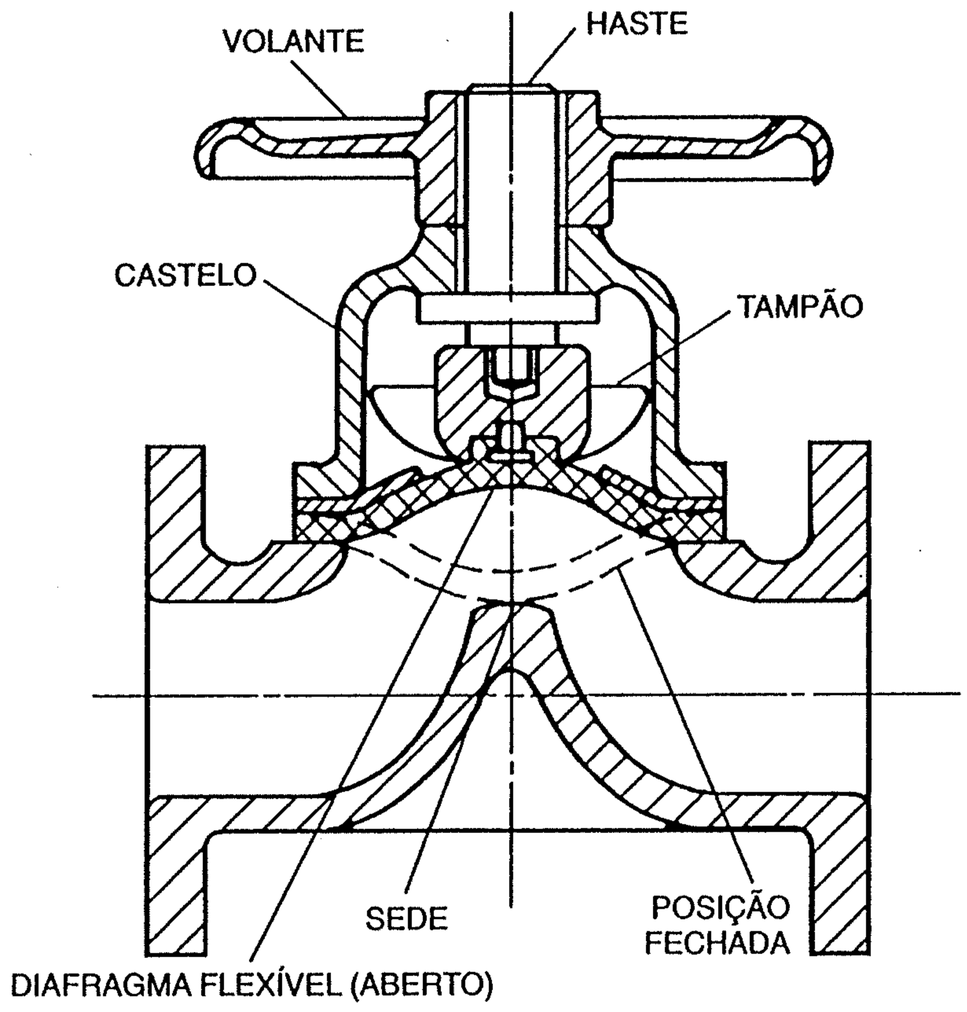


Fig. 4.26 Válvula de diafragma. (*Cortesia da Grinnell Company Inc.*)

3. *Válvulas redutoras de pressão* — As válvulas redutoras de pressão regulam a pressão a jusante da válvula, fazendo com que essa pressão mantenha-se dentro de limites preestabelecidos.

Essas válvulas são automáticas, isto é, funcionam sem intervenção de qualquer ação externa. Em muitas delas o funcionamento se faz através de uma pequena válvula-piloto, integral com a válvula principal e atuada pela pressão de montante, que dá ou não passagem ao fluido para a operação da válvula principal. Tanto a válvula-piloto como a principal fecham-se por meio de molas de tensão regulável de acordo com a pressão desejada.

4. *Válvulas de excesso de fluxo* — São válvulas pequenas, que fecham-se automaticamente, interrompendo o fluxo na tubulação, quando a vazão (ou a velocidade) do fluido ultrapassa um determinado limite. O princípio de funcionamento é semelhante ao das válvulas de segurança, com a diferença que a mola serve para manter a válvula aberta, quando a vazão é baixa. O fechamento se dá por efeito da pressão do próprio fluido, contra o tampão, contrariando a ação da mola.

Essas válvulas são empregadas, por exemplo, em instalações de enchimento de veículos ou de vasilhames, para evitar o vazamento excessivo de líquidos, no caso de ruptura ou desengate dos mangotes.

4.12 Materiais de Construção e Condições de Trabalho das Válvulas

A maior parte das válvulas tem materiais diferentes na carcaça (corpo e castelo) e no mecanismo interno (trim). São os seguintes os principais materiais de construção das carcaças das válvulas:

— Aço-carbono fundido (especificações ASTM-A-216 e A-352).
— Aço-carbono forjado (especificações ASTM-A-105, A-181 e A-350).

—Aço-carbono laminado (SAE-1020).
—Aços-liga (½ Mo, 1 ¼ Cr-½ Mo, 2 ¼ Cr-1 Mo, 5 Cr-½ Mo, 2 ½ Ni etc.).
—Aço inoxidáveis (tipos 304, 316, 410 etc.).
—Ferro fundido (especificação ASTM A126).
—Ferro maleável (especificação ASTM A197).
—Ferros fundidos especiais (adição de Cr, Ni, Si etc.).
—Bronze (especificações, ASTM B61, B62, e outras).
—Latões, metal Monel, níquel etc.
—Materiais plásticos (PVC e outros).

Para o mecanismo interno, os principais materiais usados são os seguintes:

—Aços inoxidáveis (tipos 304, 316, 410, 446 etc.).
—Bronze (especificações ASTM B61, B62 e outras).

Para as válvulas soldadas à tubulação (solda de encaixe ou solda de topo), o material do corpo deve ser sempre o mesmo dos tubos.

Os tipos e modelos mais comuns de válvulas industriais obedecem a normas que padronizam não só as dimensões principais para cada diâmetro nominal, como também os valores de pressões admissíveis em função da temperatura e dos materiais da válvula. Para as válvulas de aço fundido (aço-carbono, aços-liga ou inoxidáveis) com extremidades flangeadas ou para solda de topo, valem as mesmas sete classes de pressão nominal definidas pela norma ASME B.16.5, a que já nos referimos no Item 3.8, com relação aos flanges de aço forjado. Aplicam-se portanto a essas válvulas as mesmas curvas de interdependência entre pressões de trabalho e as temperaturas, citadas para os flanges, tais como as mostradas na Fig. 3.7.

A norma ASME B.16.34, sobre válvulas de aço fundido e de aço forjado (veja Item 4.16), contém as mesmas tabelas de pressão admissíveis da norma ASME B.16.5 (veja Item 3.8), correspondentes às sete classes de pressões dessa norma, e também pressões admissíveis da classe de pressão 4.500# (que não consta na norma ASME B.16.5). Essa última classe de pressão é válida somente para as válvulas com extremidades para solda de topo. De acordo com a norma ASME B.16.34, as válvulas com extremidades tipo "wafer" e tipo "lug" podem ser consideradas como flangeadas, valendo as mesmas pressões admissíveis.

A norma API.602 (veja também Item 4.16), referente a válvulas de gaveta, de aço forjado, de pequeno diâmetro (até 20), define pressões admissíveis para a classe de pressão 800#, que também não consta na norma ASME B. 16.5.

No Item 4.16, a seguir, estão relacionadas as normas mais usuais relativas a válvulas industriais, com indicação das classes de pressão abrangidas em cada uma.

No corpo das válvulas padronizadas costumam estar gravadas as seguintes indicações: diâmetro nominal, classe de pressão e siglas convencionais dos serviços a que se destinam.

Para as válvulas não-padronizadas, muitos fabricantes costumam indicar as faixas de pressões e temperaturas admissíveis, bem como os respectivos serviços para os quais as válvulas são indicadas e temperaturas limites de emprego.

Todas as válvulas são sempre referidas ao diâmetro nominal do tubo para o qual se destinam.

4.13 Seleção de Válvulas

A seleção da válvula adequada a um determinado serviço é feita em duas etapas: primeiro a seleção do tipo geral de válvula, e depois a especificação das diversas características e detalhes que deve ter a válvula do tipo escolhido.

Para a seleção do tipo geral de válvula, são os seguintes os principais fatores de influência que devem ser considerados:

— Finalidade básica da válvula (bloqueio, regulagem, retenção etc.).
— Natureza e estado físico do(s) fluido(s).
— Condições de corrosão, erosão, depósito de sedimentos, presença de sólidos etc., que possam existir.
— Pressão e temperatura (valores de regime e valores extremos).
— Diâmetro nominal da tubulação.
— Necessidade ou não de: fechamento estanque, fechamento rápido, operação freqüente, comando remoto, comando automático, resistência a fogo.
— Custo.
— Espaço disponível, posição de instalação.

Entre as características e detalhes que se necessita especificar para a válvula, podemos citar como mais importantes:

— Especificação completa de todos os materiais da válvula, incluindo não apenas os materiais básicos da carcaça (corpo e castelo) e do mecanismo interno, como também os materiais para todos os outros componentes da válvula existentes em cada caso: anéis de sede, anéis retentores, juntas, gaxetas, revestimento anticorrosivo, revestimento duro nas sedes, parafusos, porcas etc. Para a seleção dos materiais devem ser levados em consideração a temperatura a pressão de operação, o fluido circulante (condições de corrosão e de contaminação), dimensões da válvula e sistema de fabricação, custo, e, principalmente, a experiência anterior que exista dos diversos materiais no serviço em questão (veja Item 8.1).
— Tipo de extremidades da válvula (flange, rosca, extremos para solda etc.), com indicação das normas dimensionais que devam ser obedecidas.

Tabela 4.1
VÁLVULAS DE BLOQUEIO

Tipo de válvula	*Fluidos a que se destina*	*Fluidos muito corrosivos ou muito tóxicos?*	*Fluidos com sedimentos ou com sólidos?*	*Faixa de*			*Tem fechamento estanque?*	*Tem fechamento rápido?*	*Destina-se a operação freqüente?*	*Pode ser à prova de fogo?*	*Perda de carga causada (quando aberta)*	*Custo*	*Esforço ocupado*
				Pressão	*Temperatura*	*Diâmetro*							
Gaveta convencional	Líquidos em geral	Não	Não	Todos os valores			Não	Não	Não	Depende dos materiais	Muito baixa	Médio	Grande
Gaveta fecho rápido	Líquidos em geral	Não	Não	Baixa pressão	Temperatura moderada	Diâmetros pequenos	Não	Sim (*)	Sim	Depende dos materiais	Muito baixa	Baixo	Grande
Gaveta de Cunha Bipartida	Líquidos ou gases	Não	Não	Todos os valores	Temperatura moderada	3″ a 60″	Sim	Não	Sim	Depende dos materiais	Muito baixa	Alto	Grande
Comporta	Líquidos espessos ou sujos e pastas	Não	Sim (*)	Baixa pressão	Temperatura ambiente	Diâmetros médios e grandes	Não	Geralmente sim	Não	Não	Muito baixa	Muito baixo	Grande
Macho	Gases em geral	Não	Sim	Todos os valores		Diâmetros pequenos e médios	Pode ter	Pode ter	Sim	Depende dos materiais	Baixa	Médio	Pequeno
Esfera	Líquidos ou gases	Pode ser	Sim	Todos os valores	Temperatura moderada	Todos os valores	Pode ter	Pode ter	Sim	Depende dos materiais	Muito baixa (*)	Médio	Pequeno
Borboleta	Líquidos ou gases	Pode ser	Sim	Baixa pressão	Temperatura moderada	Todos os valores	Pode ter	Pode ter	Sim	Em geral não	Baixa	Baixo	Pequeno
Borboleta tri-excêntrica	Líquidos ou gases	Pode ser	Não	Todos os valores	Temperatura moderada	3″ a 90″	Sim	Sim	Sim	Sim	Alta	Médio	Pequeno
Diafragma	Líquidos ou gases	Sim (*)	Sim	Baixa pressão	Temperatura moderada	Diâmetros pequenos e médios	Não	Não	Não	Não	Média	Alto	Pequeno

(*) Significa característica específica do tipo de válvula.

Tabela 4.2
VÁLVULAS DE REGULAGEM

Tipo de válvula	*Fluidos a que se destina*	*Fluidos muito corrosivos ou muito tóxicos?*	*Fluidos com sedimentos ou com sólidos?*	*Faixa de*			*Tem fechamento estanque?*	*Destina-se a operação freqüente?*	*Pode ser à prova de fogo?*	*Perda de carga causada*	*Permite comando remoto*	*Custo*	*Espaço ocupado*
				Pressão	*Temperatura*	Diâmetro							
Globo	Líquidos e gases	Não	Não	Todos os valores		Pequenos e médios	Sim	Não	Depende dos materiais	Muito elevada	Dificil-mente	Médio	Médio
Globo angular		Não	Pode ser	Baixa pressão	Temperatura moderada	Pequenos e médios	Não	Não		Elevada	Dificil-mente	Baixo	Médio
Globo em "Y"		Não	Pode ser	Todos o valores		Pequenos e médios	Sim	Não		Média	Dificil-mente	Médio	Médio
Agulha		Pode ser	Não	Todos o valores		Pequenos	Sim	Não		Muito elevada	Dificil-mente	Alto	Pequeno
Con-trole		Pode ser	Não	Todos o valores		Pequenos e médios	Não	Sim (*)		Muito elevada	Sim (*)	Muito alto	Grande
Borbo-leta		Pode ser	Sim	Baixa pressão	Temperatura moderada	Todos os valores	Pode ter	Sim	Em ge-ral não	Muito Baixa	Sim	Baixo	Pequeno
Dia-fragma		Sim (*)	Sim	Baixa pressão	Temperatura moderada	Pequenos e médios	Não	Não	Não	Média	Sim	Alto	Pequeno

(*) Significa característica específica do tipo de válvula.

— Tipo de ligação corpo-castelo.
— Tipo de movimentação de haste.
— Tipo de engaxetamento da haste e do castelo.
— Sistema de acionamento.

Para as válvulas de segurança e de controle, são ainda necessários dados adicionais, como será visto no Item 4.15.

Repetindo e condensando muitas das informações contidas nos Itens 4.3 a 4.12, damos a seguir, nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, quadros comparativos dos diversos tipos de válvulas de bloqueio e de regulagem, e um quadro das características mais usuais das válvulas.

— Observações sobre a Tabela 4.3:

1. As extremidades de ponta e bolsa podem ser usadas em tubulações de ferro fundido.
2. As válvulas tipos "borboleta" ou "retenção" podem ser tipo "wafer", ou tipo "lug", sem flanges.
3. Para serviços muito corrosivos recomendam-se as válvulas de diafragma.
4. Para os casos de emprego dos flanges com face para junta de anel, veja Item 3.7.3.
5. Para os casos de emprego de extremidades para solda de topo, veja Item 4.3.
6. Para as exigências especiais de sistema de acionamento ou de tubo de contorno veja Itens 4.4 e 4.5.
7. A qualidade do aço para o corpo e castelo, bem como para o mecanismo interno, depende principalmente da temperatura de operação e da natureza do fluido contido (condições de corrosão). Para serviços não corrosivos são os seguintes os materiais usuais:

Temperatura máxima °C	*Materiais*	
	Corpo e Castelo	*Mecanismo interno*
400	Aço-carbono	Aço inoxidável 410
450	Aço-liga ½Mo	Aço inoxidável 410
500	Aço-liga 1 ¼Cr—¼ Mo	(sedes de "Stellite")
550	Aço inoxidável 304	Aço inoxidável 304 (sedes de "Stellite")

Para temperaturas abaixo de zero °C, recomendam-se os seguintes materiais para o corpo e castelo:

Temperaturas até −45°C: Aço-carbono especial para baixas temperaturas (por exemplo: forjados: ASTM A-350 Gr. LF1, fundidos: ASTM A-352 Gr. LCB).

Idem, até −60°C: Aço-liga 2 ½ % Ni.

Idem, até −100°C: Aço-liga 3 ½ % Ni

Em qualquer caso, o mecanismo interno deverá ser de aço inoxidável tipo 304.

Tabela 4.3
CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS VÁLVULAS INDUSTRIAIS

Serviço	*Diâmetro nominal*	*Material*		*Tipo de extremidades*	*Ligação corpo-castelo*	*Tipo de movimentação da haste*	*Observações*
		Corpo e Castelo	*Mecanismo interno*				
Baixa responsabilidade	Até 2″	Bronze	Bronze	Rosca	Rosca	Haste e volante ascendentes	
	3″ ou maior	Ferro fundido	Bronze	Flange (face plana) ou ponta e bolsa	Aparafusada (junta plana)	Haste e volante ascendentes	1,2
Severo	Até 1 ½″	Aço forjado	Aço inoxidável	Solda de encaixe	União	Haste ascendente, rosca, externa	3,7
	2″ ou maior	Aço fundido	Aço inoxidável	Flange (face de ressalto ou para junta de anel) ou solda de topo	Aparafusada (junta confinada)	Haste ascendente, rosca externa	3,4,5,6,7

Serviço de baixa responsabilidade significa:
Fluido não-perigoso, pressão até 0,7 MPa (≅ 7 kg/cm^2), temperatura até 100°C.
Serviço "severo" significa:
Alta responsabilidade.(fluidos inflamáveis, tóxicos etc.), ou pressões e/ou temperaturas superiores aos limites acima.

4.14 Principais Linhas de Fabricação de Válvulas

Existe no comércio um grande número de modelos e de linhas de fabricação de válvulas, que são bastante variáveis de um fabricante para outro. Nas Tabelas 4.4 estão mostradas as principais linhas de fabricação, com indicação das faixas de diâmetro de fabricação usual, para cada classe de pressão e cada tipo geral de válvula.

Como todos esses dados estão em constante evolução, as informações dessas tabelas são apenas uma primeira aproximação.

Para as válvulas de construção mais simples (gaveta e suas variantes, borboleta e alguns tipos de válvulas de retenção), fabricam-se, correntemente ou sob encomenda, válvulas com o corpo fabricado de chapas de aço, com extremidades flangeadas ou tipo "wafer", para diâmetros de até 3 m, ou mais.

a) Válvulas de aço fundido: Extremidades: Flanges ou solda de topo (Tabela 4.4a).

Tabela 4.4a

Tipo de válvula	*Classes de pressão nominal*						
	150#	300#	400#	600#	900#	1500#	2500#
Gaveta	1½" a 60"	1½" a 24"	4" a 24"	1½" a 24"	3" a 24"	1½" a 24"	1½" a 12"
Globo	1½" a 12"	1½" a 12"	4" a 8"	1½" a 8"	3" a 8"	1½" a 8"	1½" a 8"
Angular	1½" a 8"	1½" a 8"	4" a 8"	1½" a 8"			
Macho	1½" a 24"	1½" a 24"	4" a 16"	1½" a 12"	3" a 12"	1½" a 12"	
Esfera	2" a 36"	2" a 36"	4" a 30"	2" a 30"			
Retenção	1½" a 48"	1½" a 48"	4" a 12"	1½" a 24"	3" a 10"	1½" a 10"	
Borboleta	1½" a 60"	½" a 48"					
Borb. tri-exc.	3" a 72"	3" a 48"		3" a 48"	6" a 24"	6" a 24"	
Controle	1" a 12"	1" a 12"		1" a 12"			
Diafragma	½" a 6"						

b) Válvulas de aço forjado: Extremidades: Rosca ou solda de encaixe.

Tabela 4.4b

Tipo de válvula	*Classes de pressão nominal*		
	300#	600#	800-2000
Gaveta	½" a 2"	½" a 2"	½" a 2"
Globo	½" a 2"	½" a 2"	¼" a 2"
Retenção	½" a 2"	½" a 2"	¼" a 2"

c) Válvulas de ferro fundido: Extremidades: Flanges ou ponta e bolsa.

Tabela 4.4c

Tipo de válvula	*Classes de pressão nominal*		
	125 #	250 #	DIN (PB-37)
Gaveta	2" a 36"	2" a 24"	40 a 2.000 mm
Globo	2" a 12"	2" a 12"	
Angular	2" a 12"	2" a 12"	
Macho	1" a 14"		
Retenção	2" a 24"	2" a 24"	50 a 600 mm
Borboleta	2" a 72"		80 a 2.400 mm
Diafragma	2" a 16"		

d) Válvulas de bronze: Extremidades rosqueadas.

Tabela 4.4d

Tipo de válvula	*Classes de pressão nominal*		
	125#	150#	300#
Gaveta	½" a 3"	½" a 3"	½" a 3"
Fecho rápido	½" a 3"		
Globo	¼" a 3"	¼" a 3"	¼" a 3"
Angular	¼" a 3"	¼" a 3"	½" a 3"
3 ou 4 vias	¼" a 3"		
Agulha	¼" a 2"		
Macho	¼" a 3"		
Retenção	¼" a 3"		

4.15 Dados para Encomenda ou Requisição de Válvulas

O documento de compra de qualquer válvula deve especificar os seguintes dados:

— Quantidade.
— Tipo geral da válvula (gaveta, macho, globo, retenção de portinhola etc.).
— Dimensão básica (diâmetro nominal do tubo).
— Classe de pressão nominal.

— Tipo de extremidades e norma dimensional respectiva.
— Especificação completa de todos os materiais (veja Item 4.13).

Para as válvulas de macho, de esfera, borboleta e de retenção de portinhola, é necessário especificar também o tipo de corpo: Macho: regular, curto, venturi, circular, 3 ou 4 vias; esfera: passagem plena ou reduzida; borboleta e retenção: corpo convencional, tipo "wafer", ou tipo "lug".

Além desses dados mínimos, é geralmente necessário especificar ainda os seguintes dados, que se aplicarem:

—Tipo de ligação corpo-castelo.
—Tipo de peças internas (por exemplo: gaveta maciça, em cunha ou paralela, gaveta bipartida, sedes integrais ou removíveis, macho lubrificado ou não etc.).
—Tipo de sistema de movimentação da haste.
—Acessórios opcionais e condições e/ou exigências especiais. Por exemplo: Tubo de contorno com válvula (by-pass), indicador de posição de abertura, volante com adaptação para corrente, alavanca com catraca de fixação, alavanca para comando de válvula de retenção, válvula com camisa de aquecimento, válvula com corpo aletado, válvula à prova de fogo, válvula com exigência de fechamento estanque, válvula com comando remoto, válvula com dimensões fora do usual etc.
—Norma dimensional ou outras normas que devam ser obedecidas.

Os seguintes dados devem também ser especificados no documento de compra sempre que houver alguma exigência diferente do que pedem as normas, ou diferente da prática usual dos fabricantes:

—Tipo de engaxetamento (da haste e do castelo).
—Testes de inspeção e de aceitação (exigência de certificados da qualidade dos materiais, inspeção radiográfica ou por ultra-som, teste de estanqueidade, teste de resistência a fogo etc.).

Para muitos tipos de válvulas é necessário também, em alguns casos, especificar o sistema de operação desejado.

Para válvulas de qualquer tipo, principalmente em serviços de responsabilidade, alto risco, ou com fluidos não-usuais, recomenda-se muito que sejam indicados no documento de compra a natureza do(s) fluido(s) circunlante(s) e os valores de pressão e de temperatura máximas de operação, bem como da temperatura mínima de operação, caso tenha valor abaixo de 0°C, para que o fabricante ou o vendedor da válvula tenha condições de assumir responsabilidade pela válvula e, em alguns casos, propor possíveis alternativas melhores ou mais econômicas.

Para as válvulas de segurança ou de alívio, os seguintes dados adicionais são necessários:

—Pressão de abertura, norma de cálculo e tempo para a abertura.
—Descarga livre ou valor da contrapressão de descarga.
—Vazão máxima, mínima e de regime.
—Letra indicativa da área do orifício de descarga.
—Necessidade, ou não, de fole de balanceamento.

Para as válvulas de controle, as seguintes informações adicionais são necessárias:

—Tipos de curva característica de fechamento.
—Vazão máxima, mínima e de regime, coeficiente de vazão (Cv).
—Perda de carga (máxima e mínima).
—Posição desejada da mola para abrir ou para fechar.
—Características do ar de comando.
—Nível máximo de ruído admissível.

Em muitos casos, os catálogos dos fabricantes de válvulas especificam vários desses dados, sendo assim dispensável repeti-los no documento de compra, desde que seja claramente citado o modelo do fabricante.

4.16 Principais Normas sobre Válvulas

São as seguintes as principais normas brasileiras e americanas sobre válvulas industriais(*).

Normas da ABNT

EB-141

Padroniza dimensões, materiais, construção, condições de trabalho, testes de aceitação etc., dos seguintes tipos de válvulas para a indústria do petróleo e petroquímica:

Parte I — Válvulas de gaveta, de aço forjado, de ½" a 3", das classes 600# a 2.500#, e de aço fundido, de ½" a 36", das classes 150# a 2.500#.

Parte II — Válvulas de esfera, de passagem plena e de passagem reduzida, de ½" a 24", das classes 150# a 900#.

Parte III — Válvulas de macho, tipos curto, regular, venturi e passagem circular, de ½ a 24", das classes 150# a 2.500#.

Parte IV — Válvulas de retenção, tipos portinhola, pistão e esfera, de aço forjado, de ½ a 3", das classes 600# a 2.500#, e de aço fundido ½" a 36", das classes 150# a 2.500#.

(*) Veja tabelas de dimensões normalizadas de diversos tipos de válvulas no livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já citado.

Parte V — Válvulas de globo, de aço fundido, de 2" a 16", das classes 150# a 2.500#.

Parte VI — Válvulas de globo, de aço forjado, de ¼" a 2", da classe 800#, e de aço fundido das classes 150# a 600 #.

Nem todos os tipos e classes abrangem válvulas em todas as faixas de diâmetros acima indicados.

P-PB-37

Válvulas de gaveta e de retenção de ferro fundido, para água e esgotos, até 24", com extremidades flangeadas e para ligações de ponta e bolsa.

Normas do ASME

ASME B.16.10 — Dimensões de válvulas flangeadas e para solda de topo, de gaveta, de macho, de esfera, de globo, de retenção e de controle de aço fundido, aço forjado e de ferro fundido, até 24", das classes 150# a 2.500#.

ASME B.16.34 — Pressões admissíveis e espessuras mínimas de válvulas de aço fundido e aço forjado, até 30", das classes 150# a 2.500# com extremidades flangeadas ou para solda de topo.

ASME B.16.104 — Limites de vazamento para válvulas de controle.

Normas API (American Petroleum Institute)

API-6D — Válvulas de gaveta, de esfera, de macho e de retenção, de aço para oleodutos, classes 150# a 2.500#.

API-526 — Válvulas de segurança de aço, flangeadas, classes 150# a 2.500#.

API-593 — Válvulas macho, de ferro dúctil, flangladas.

API-594 — Válvulas de retenção tipo "wafer" de ferro fundido, classes 125# e 250#, e de aço fundido, classes 150# a 2.500#.

API-597 — Válvulas de gaveta, tipo "venturi", flangeadas ou para solda de topo.

API-598 — Inspeção e testes de válvulas.

API-599 — Válvulas de macho, de aço, flangeadas ou para solda de topo, classes 150# a 2.500#.

API-600 — Válvulas de gaveta de aço, flangeadas ou para solda de topo, classes 150# a 2.500#.

API-602 — Válvulas de gaveta de aço forjado, de pequeno diâmetro, classe 800#.

API-603 — Válvulas de gaveta leves, classe 150# resistentes à corrosão.

API-604 — Válvulas de gaveta e de macho, de ferro nodular, classes 150# e 300#.

API-606 — Válvulas de gaveta, de aço forjado, de pequeno diâmetro, com corpo estendido.

API-609 — Válvulas de borboleta de ferro fundido, classe 125#, e de aço fundido, classe 150#.

Normas do BSI (British Standards Institution)

BS-5146 — Inspeção e testes de válvulas de aço para as indústrias de petróleo, petroquímica e indústrias afins.

BS-5159 — Válvulas de esfera de ferro fundido e de aço para serviços gerais.

BS-5351 — Válvulas de esfera de aço para as indústrias de petróleo, petroquímicas e indústrias afins.

Todas as normas acima incluem dimensões, materiais, construção, pressões admissíveis em função da temperatura e dos materiais, testes de aceitação etc.

ISA-RP 4.1 (Norma da "Instrument Society of America") — Padroniza dimensões de válvulas de controle.

5

CONEXÕES DE TUBULAÇÃO

5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS CONEXÕES DE TUBULAÇÃO

Podemos dar a seguinte classificação de acordo com as finalidades e tipos das principais conexões de tubulação (pipe-fittings):

Finalidades	*Tipos*	
1. Fazer mudanças de direção em tubulações	Curvas de raio longo Curvas de raio curto Curvas de redução Joelhos (elbows) Joelhos de redução	de 22 ½°, 45°, 90° e 180°
2. Fazer derivações em tubulações	Tês normais (de 90°) Tês de 45° Tês de redução Peças em "Y' Cruzetas (crosses) Cruzetas de redução Selas (saddles) Colares (sockolets, weldolets etc.) Anéis de reforço	
3. Fazer mudanças de diâmetro em tubulações	Reduções concêntricas Reduções excêntricas Reduções bucha	
4. Fazer ligações de tubos entre si	Luvas (couplings) Uniões Flanges Niples	Já vistos no Cap. 3
	Virolas (para uso com flanges soltos)	
5. Fazer o fechamento da extremidade de um tubo	Tampões (caps) Bujões (plugs) Flanges cegos (já vistos no Cap. 3)	

Não existe uma distinção muito rígida entre as denominações "curvas" e "joelhos", chamados às vezes de "cotovelos"; de um modo geral, as conexões de raio grande são chamadas de "curvas", e as de raio pequeno são chamadas de "joelhos".

As conexões de tubulação podem também ser classificadas de acordo com o sistema de ligação empregado; teremos, então:

— Conexões para solda de topo.
— Conexões para solda de encaixe.
— Conexões rosqueadas.
— Conexões flangeadas.
— Conexões de ponta e bolsa.
— Conexões para ligações de compressão etc.

Nas Figs. 5.2 a 5.9 vemos diversos exemplos de todos esses tipos de conexões, e na Fig. 5.1 estão mostrados exemplos de emprego de conexões de tubulação.

O nome "conexões", dado a essas peças, embora seja uma designação usual e consagrada na terminologia técnica, não é muito apropriado, porque a maioria dessa peças não tem por finalidade específica conectar tubos.

No Cap. 8 deste livro, vamos ver exemplos de especificação de conexões de tubulação para alguns serviços mais comuns na prática, juntamente com a seleção e especificação dos tubos, meios de ligação, válvulas etc.(*)

5.2 CONEXÕES PARA SOLDA DE TOPO

As conexões para solda de topo são peças tendo um chanfro apropriado nas extremidades, para a soldagem direta nos tubos, ou dessas peças entre si, como mostrado na Fig. 5.1. Essas peças devem ser sempre do mesmo material dos tubos, ou de material de mesmo "Número P", como definido na norma ASME B.31 (veja nota de rodapé na pág. 25), para evitar soldas dissimilares. São desse tipo

(*) Para as dimensões normalizadas de conexões de diversos tipos, veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já citado.

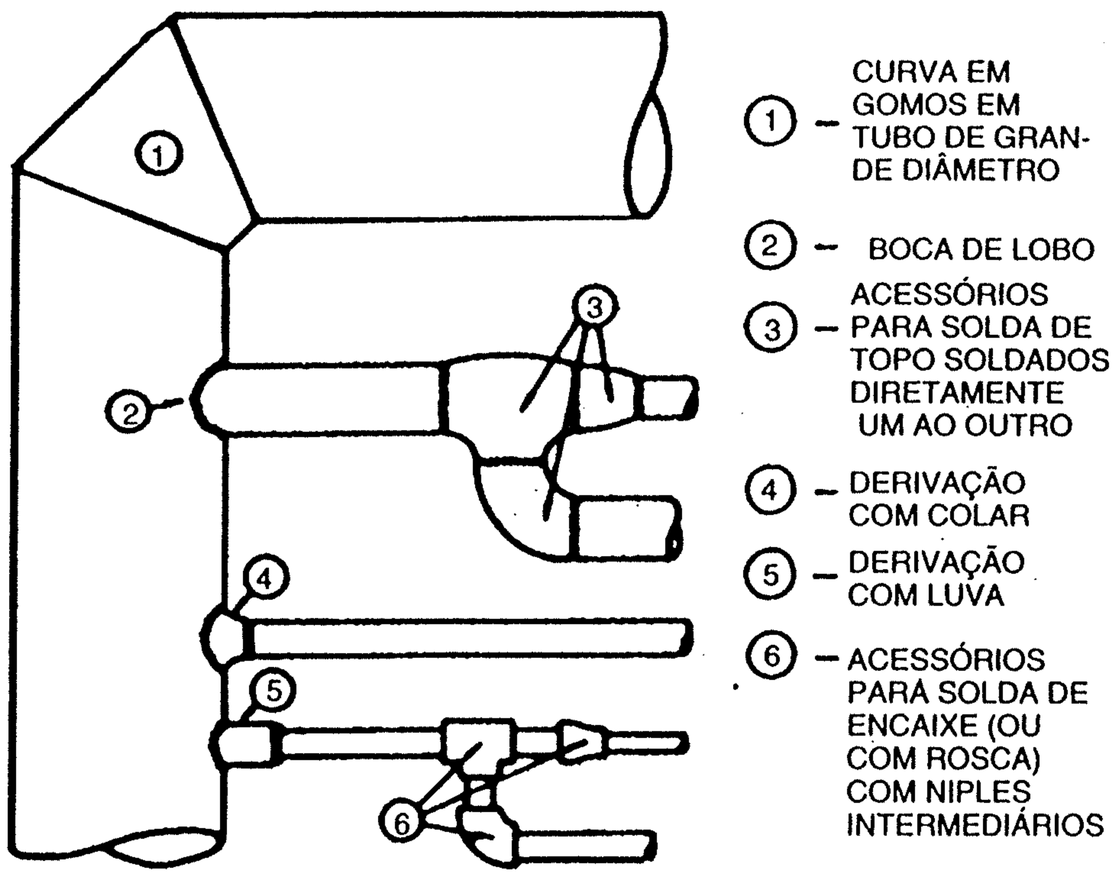


Fig. 5.1 Emprego de conexões de tubulação.

quase todas as conexões empregadas, na prática industrial, nas tubulações com diâmetro nominal de 2″ ou maiores. Fabricam-se em aço-carbono de aços-liga (especificação ASTM A234), e em aços inoxidáveis (especificação ASTM A403), a partir de tubos, chapas e tarugos forjados (Fig. 5.2).

As conexões de aço-carbono, que são a grande maioria, são fabricadas em quase todos os tipos, desde ½″ até 42″ de diâmetro nominal, em diversas espessuras, correspondentes às espessuras mais usuais dos respectivos diâmetros de tubo. Essas conexões são fabricadas sem costura até 12″, e com ou sem costura para os diâmetros maiores. No Brasil fabricam-se essas peças de qualquer tipo de aço até 42″ de diâmetro nominal, nas espessuras séries 40, 80 e 160. A espessura de parede das conexões deve sempre ser igual à do tubo a que estão ligadas, para permitir soldas perfeitas.

As dimensões básicas de todos os tipos de conexões fabricadas para solda de topo estão padronizadas na norma ASME.B.16.9. Todas as conexões cujas dimensões obedeçam a essa norma são admitidas, pela norma ASME.B.31.3, como tendo resistência equivalente ao tubo de mesmo material e de mesma espessura.

São os seguintes os principais tipos de conexões fabricadas para solda de topo (Fig. 5.2):

—Joelhos de 45°, 90° e 180° (normais e de redução).
—Tês normais, tês de redução e tês de 45°.
—Cruzetas (normais e de redução).
—Reduções concêntricas e excêntricas.
—Selas (para derivações).
—Colares.
—Tampões.
—Virolas (para flanges soltos).

Os joelhos para solda de topo são fabricados em dois tipos denominados de "raio longo" e de "raio curto". Nos joelhos de raio longo, o raio médio de curvatura vale 1 ½ vez o diâmetro nominal, e nos de raio curto é igual ao diâmetro nominal.

Existem no comércio conexões para solda de topo com alguns tipos de revestimentos internos anticorrosivos já aplicados. Sempre que possível, o revestimento deve ser retocado na região das soldas depois da montagem.

Note-se que todas as conexões para solda de topo podem ser soldadas diretamente uma à outra, como se vê nos exemplos da Fig. 5.1.

5.3 Conexões para Solda de Encaixe

Essas conexões têm as extremidades com o encaixe para a soldagem nos tubos, e por esse motivo devem tam-

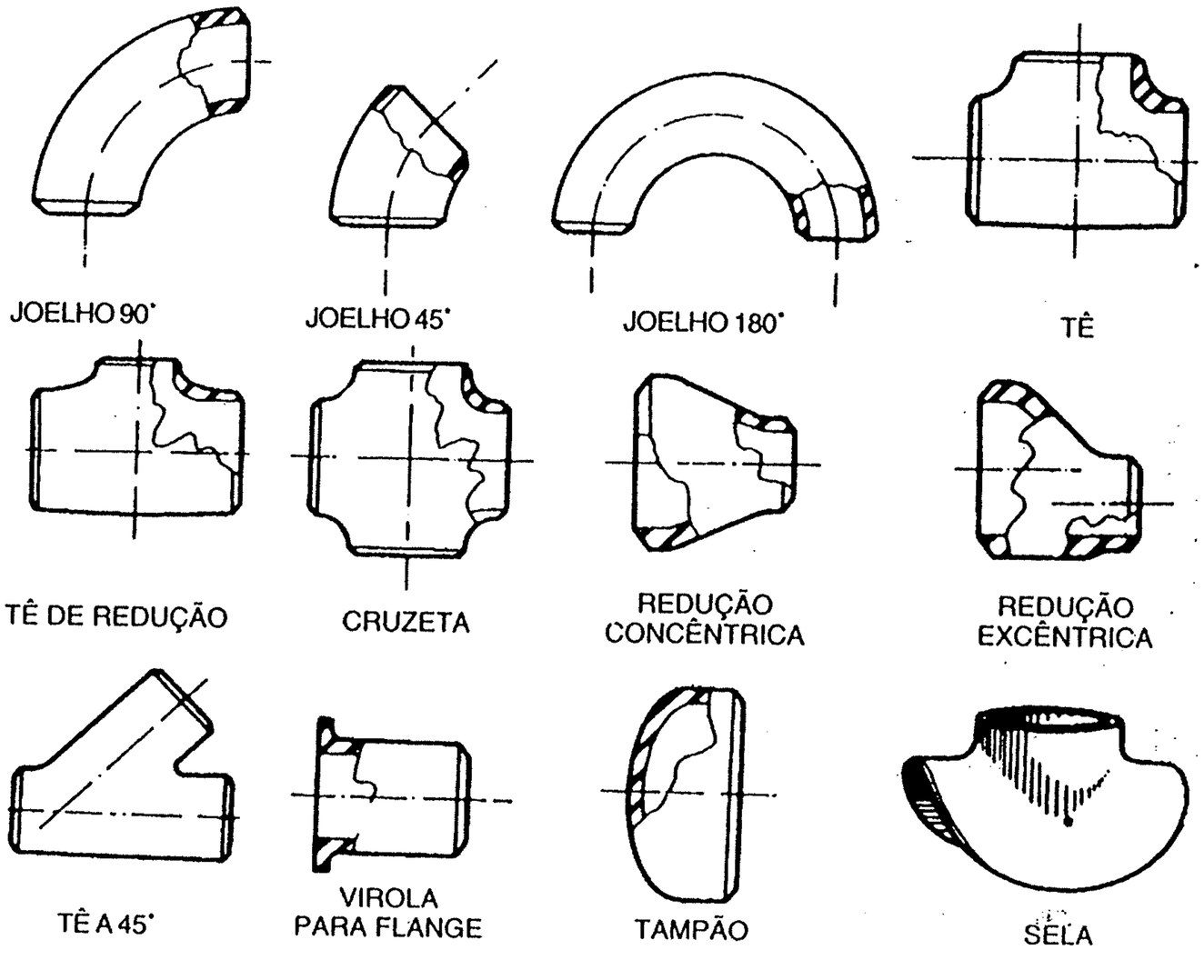


Fig. 5.2 Conexões para solda de topo.

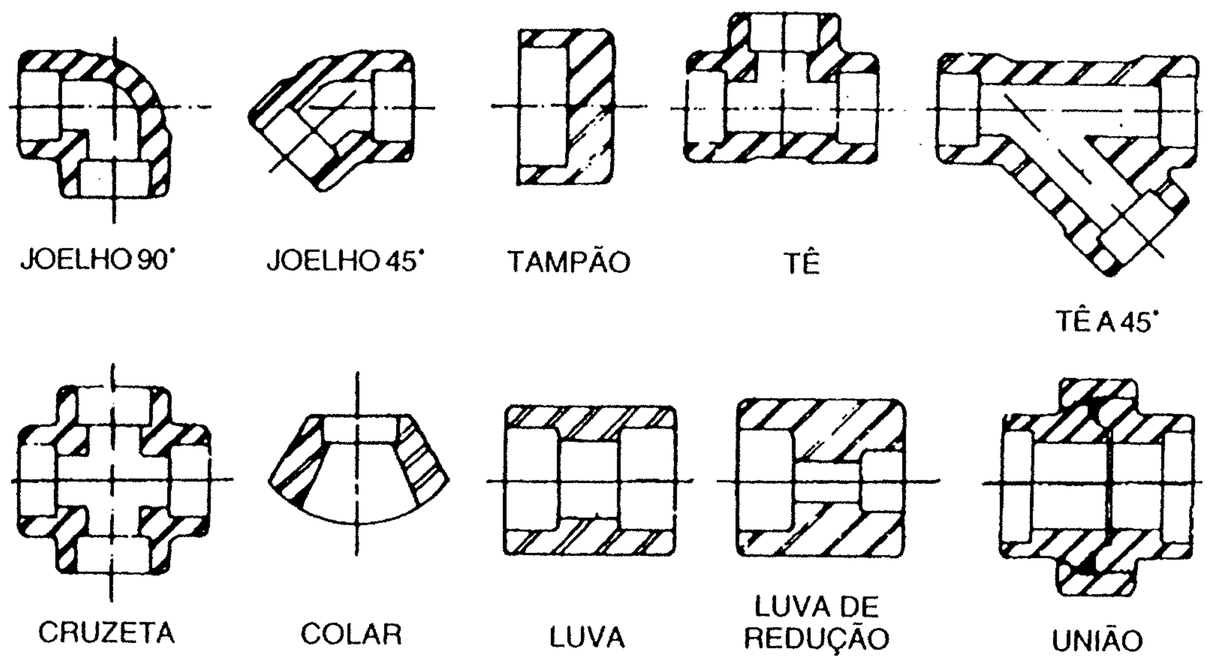


Fig. 5.3 Conexões para solda de encaixe.

bém ser sempre do mesmo material dos tubos, ou de material de mesmo "Número P" (veja nota de rodapé na pág. 25). As conexões para solda de encaixe são as peças empregadas, na prática industrial corrente, na maioria das tubulações de pequeno diâmetro, até 1 ½", inclusive. São fabricadas de aço-carbono forjado (especificações ASTM A105, A181 e A350), aços-liga e aços inoxidáveis (especificação ASTM A182), metais não-ferrosos, e diversos plásticos. As peças de metais não-ferrosos são às vezes para uso com brasagem, tendo por dentro do encaixe um anel embutido de metal de solda: para fazer a solda, basta introduzir a ponta do tubo no encaixe e aquecer pelo lado de fora para fundir a liga de solda.

As conexões para solda de encaixe de materiais plásticos devem ser soldadas por aquecimento e compressão ou coladas aos tubos com um adesivo adequado à resina plástica.

As conexões de aço são fabricadas forjadas, nos diâmetros nominais de 1/8" a 4", e em 3 espessuras denominadas: classes 3.000#, 6.000# e 9.000#, para emprego com tubos de espessuras séries 80, 160 e XXS, respectivamente.

São os seguintes os principais tipos de conexões fabricadas para solda de encaixe (Fig. 5.3):

— Joelhos de 90° e de 45°.
— Tês normal, de redução e de 45°.
— Luvas normal e de redução, meias-luvas.
— Cruzetas.
— Tampões.
— Uniões.
— Colares (para derivações).

As dimensões de todos esses tipos de conexões estão padronizadas na norma ASME.B.16.11. Essa mesma norma admite que a resistência mecânica dessas peças seja equivalente à do tubo de mesmo material, de espessura correspondente à respectiva classe.

Fabricam-se no Brasil conexões para solda de encaixe, em qualquer tipo de aço e em todas as classes, nos diâmetros nominais de 3/8" a 4".

Encontram-se também no comércio conexões para solda de encaixe com alguns tipos de revestimentos internos já aplicados.

5.4 Conexões Rosqueadas

Essas conexões têm as extremidades com rosca interna — para o rosqueamento direto nos tubos —, ou rosca externa, para rosqueamento a outras peças (Fig. 5.4). Como não são soldadas aos tubos, poderão ser, caso necessário ou econômico, de material diferente dos tubos.

São empregadas principalmente em tubulações prediais e em tubulações industriais em serviços de baixa responsabilidade (água, ar, condensado de baixa pressão etc.), sempre até o diâmetro nominal de 4"(*). Utilizam-se também em tubulações em que, devido ao material ou ao serviço, sejam permitidas ligações rosqueadas, tais como tubulações de ferro fundido, ferro ou aço galvanizado e materiais plásticos, sempre até o diâmetro máximo de 4". O emprego dessas conexões está sujeito às mesmas exigências e limitações impostas às ligações rosqueadas para tubos, já citadas no Item 3.2.

(*)Veja Item 3.14.

Tabela 5.1

Material	*Classes de pressão ou espessuras*	*Diâmetros*
Ferro maleável (ASTM A197) (preto ou galvanizado)	150# e 300#	1/4" a 6"
Ferro fundido (ASTM A126)	125# e 250#	1/4" a 8"
Latão	125# e 250#	1/8" a 4"
Aço-carbono forjado (ASTM A105 e A181)	2.000#, 3.000# e 6.000#	1/8" a 4"
Plástico PVC	Séries 40, 80 e 120	1/4" a 4"

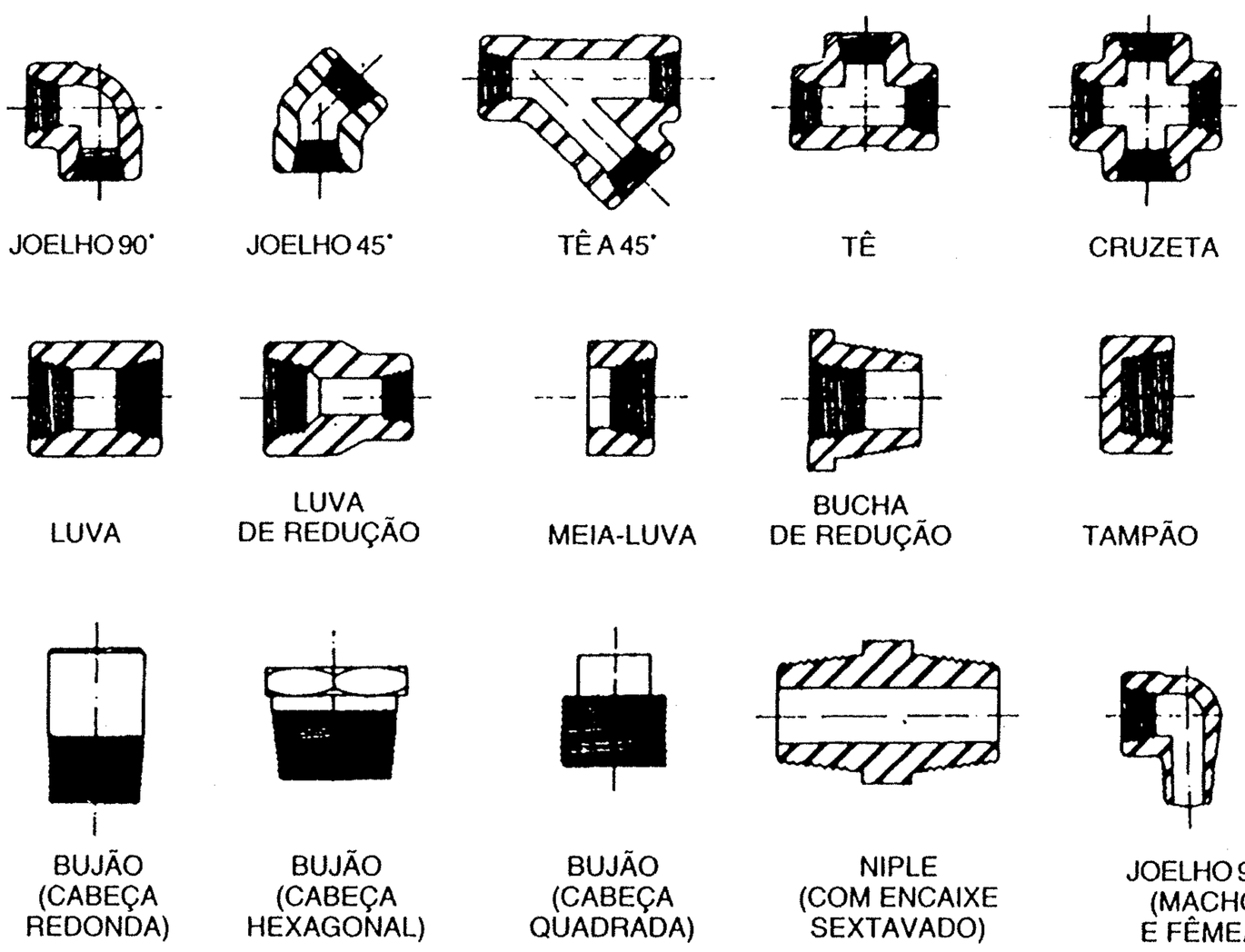


Fig. 5.4 Conexões rosqueadas.

As conexões rosqueadas são fabricadas em uma grande variedade de materiais, tipos e diâmetros nominais. As principais linhas de fabricação dessas peças estão mostradas na Tabela 5.1.

As conexões de aço forjado de classe 2.000#, 3.000# e 6.000# devem ser empregadas, respectivamente, com os tubos de espessuras séries 80, 160 e XXS.

As conexões de ferro maleável podem ser pretas (isto é, sem galvanização), ou galvanizadas, e são as normalmente empregadas com os tubos de ferro forjado. Esses materiais não podem ser usados para nenhum serviço tóxico; as limitações para uso com vapor e com hidrocarbonetos são as mesmas relativas aos tubos de ferro forjado, já referidas no Item 2.15.

Fabricam-se ainda conexões rosqueadas, geralmente até 6″ no máximo, de diversos materiais plásticos.

No Brasil fabricam-se conexões de ferro maleável, pretas ou galvanizadas, de 150# e 300#, de 1/2″ até 4″; de aço forjado de 2.000#, 3.000# e 6.000#, de 1/2″ a 4″; de plástico PVC, série 40, até 4″.

As dimensões dessas conexões estão padronizadas em diversas normas, e as dimensões dos filetes de rosca estão padronizadas nas normas ASME.B.2.1 e API.6A (roscas para flanges, válvulas e acessórios).

5.5 Conexões Flangeadas

As conexões flangeadas (Fig. 5.5), fabricadas principalmente de ferro fundido, são de uso bem mais raro do que os flanges, vistos no Cap. 3, e do que as conexões dos outros tipos acima citados.

As conexões de ferro fundido são empregadas em tubulações de grande diâmetro (adutoras, linhas de água e de gás) e de baixa pressão, somente onde e quando for necessária grande facilidade de desmontagem. Essas peças

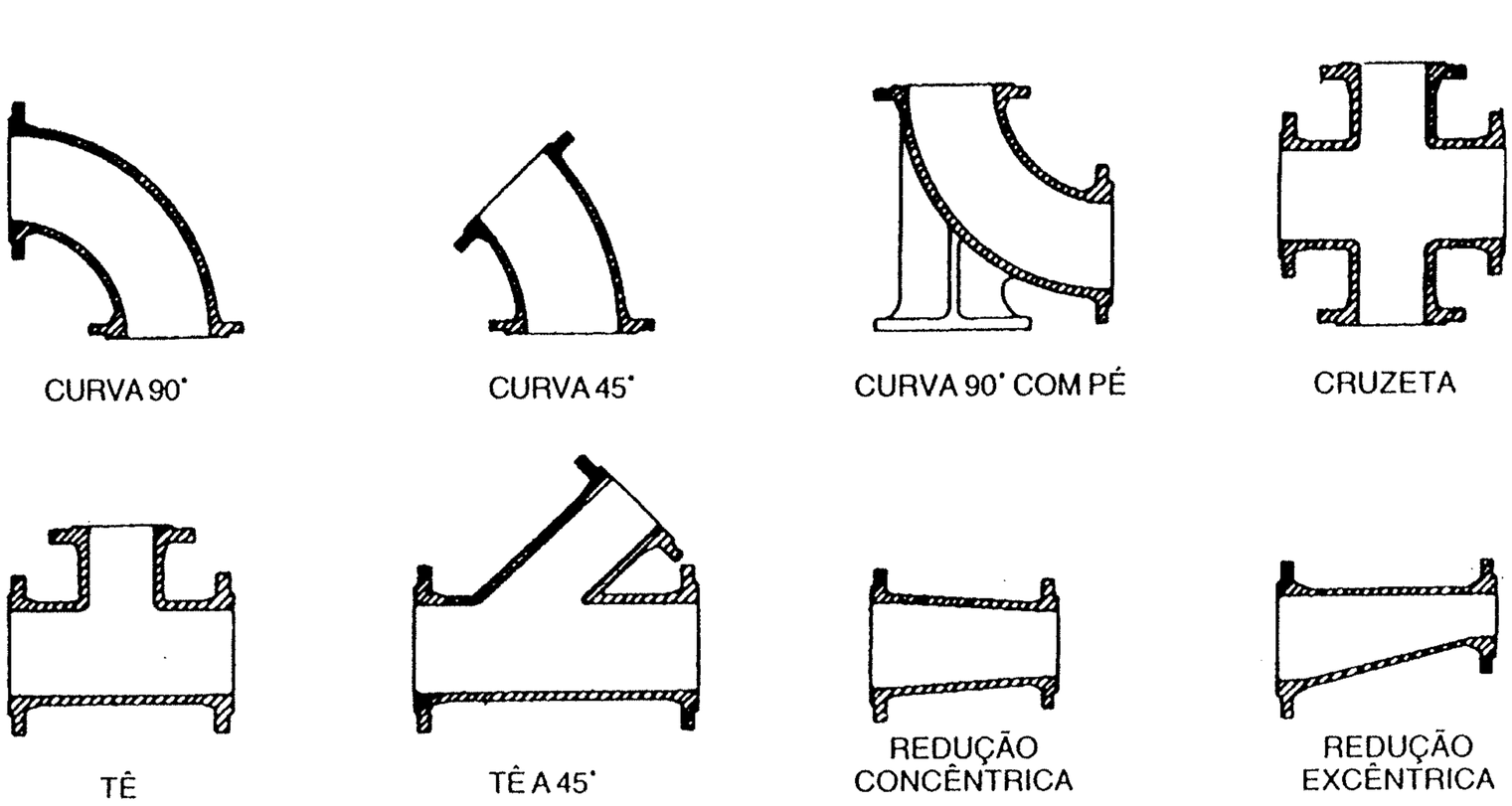


Fig. 5.5 Conexões flangeadas.

são fabricadas com flanges de face plana, em duas classes de pressão (125# e 250#), abrangendo diâmetros nominais de 1″ até 24″. As conexões flangeadas de ferro fundido estão padronizadas na norma P-PB-15 da ABNT e ASME.B.16.1, que especificam dimensões e pressões de trabalho.

As conexões flangeadas de aço fundido, de uso bastante raro na prática, podem ser usadas em tubulações industriais, para uma grande faixa de pressões e temperaturas de trabalho. Entretanto, devido ao custo elevado, grande peso e volume, necessidade de manutenção e risco de vazamentos, o emprego dessas peças deve ser restringido apenas aos poucos casos em que seja necessária uma grande facilidade de desmontagem, ou a algumas tubulações de responsabilidade para serviços corrosivos, com revestimento interno. São fabricadas com flanges com face de ressalto ou face para junta de anel, em 6 classes de pressão (150#, 300#, 400#, 600#, 900#, 1.500#), e nos diâmetros nominais de 2″ a 24″. As dimensões, pressões e temperaturas de trabalho são as estabelecidas na norma ASME.B.16.5.

Existem ainda conexões flangeadas de muitos outros materiais, tais como latões, alumínio, plásticos reforçados com fibras de vidro (para tubos "FRP"). Encontram-se também no comércio conexões de aço-carbono, com extremidades flangeadas e com vários tipos de revestimentos internos anticorrosivos já aplicados: materiais plásticos, elastômeros, ebonite etc. Os flanges são geralmente do tipo "solto" (veja Item 3.6.6), devendo obrigatoriamente o revestimento estender-se até a face da virola dos flanges, para garantir a continuidade da proteção anticorrosiva.

5.6 Conexões de Ligação — Niples

Os niples são pedaços curtos de tubos preparados especialmente para permitir a ligação de duas conexões entre si, ou de uma válvula com uma conexão, em tubulações onde se empregam ligações rosqueadas ou para solda de encaixe. É fácil de se entender que as conexões e válvulas rosqueadas ou para solda de encaixe não podem ser diretamente ligadas uma à outra, ao contrário do que acontece com as conexões para solda de topo e flangeadas. Os niples servem também para fazer pequenos trechos de tubulação.

Os niples podem ser paralelos, isto é, de mesmo diâmetro, ou de redução, com extremidades de diâmetros diferentes. Os niples paralelos são fabricados de pedaços de tubos cortados na medida certa e com as extremidades preparadas. Os niples de redução são em geral fabricados por estampagem (repuxamento) de pedaços de tubos (swaged niples).

Embora os niples sejam fabricados até 12″ de diâmetro nominal, são empregados principalmente nos diâmetros pequenos (até 4″), faixa em que se usam tubulações com rosca ou com solda de encaixe. Existe uma grande variedade de tipos de niples, dos quais os principais são os seguintes:

1. Niples paralelos
   - Ambos os extremos rosqueados (both end threaded — BET).
   - Ambos os extremos lisos (both end plain — BEP).
   - Um extremo rosqueado e outro liso (one end threaded — OET).
2. Niples de redução
   - Ambos os extremos rosqueados — (BET).
   - Ambos os extremos lisos — (BEP).
   - Extremo maior rosqueado e menor liso (large end threaded, small end plain — LET-SEP).
   - Extremo maior liso e menor rosqueado (large end plain, small end threaded — LEP-SET).

O comprimento dos niples varia em geral de 50 a 150 mm. A Fig. 5.6 mostra alguns tipos de niples e exemplos de empregos. Os niples rosqueados têm, às vezes, uma parte sextavada no centro para facilitar o aperto.

5.7 Outros Tipos de Conexões de Tubulação

Existem ainda várias outras classes de conexões de tubulação, tais como:

- Conexões com pontas lisas para tubos de plásticos reforçados (tubos "FRP").
- Conexões de ponta e bolsa de ferro fundido e de outros materiais.
- Conexões para ligação de compressão.
- Conexões para juntas "Dresser", "Victaulic" etc.

Todas essas conexões são fabricadas nos diâmetros e com os materiais adequados ao uso com os tubos que empreguem cada um desses sistemas de ligação.

As conexões com extremidades lisas, para tubos "FRP", são fabricadas em vários tipos (curvas, tês, reduções, flanges, niples etc.), em toda faixa de diâmetro des-

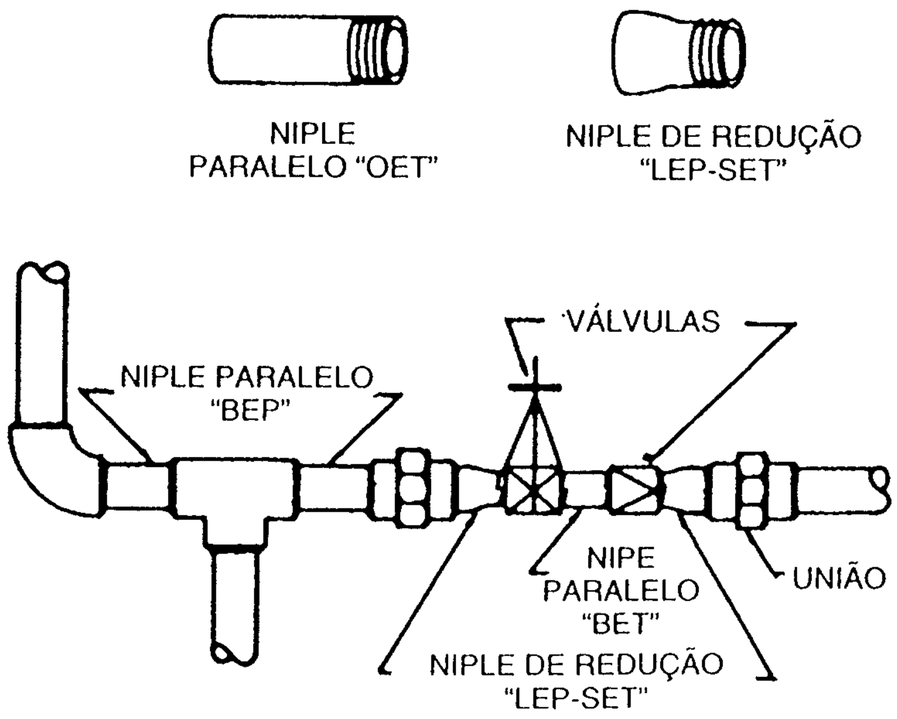


Fig. 5.6 Tipos de niples e exemplos de emprego.

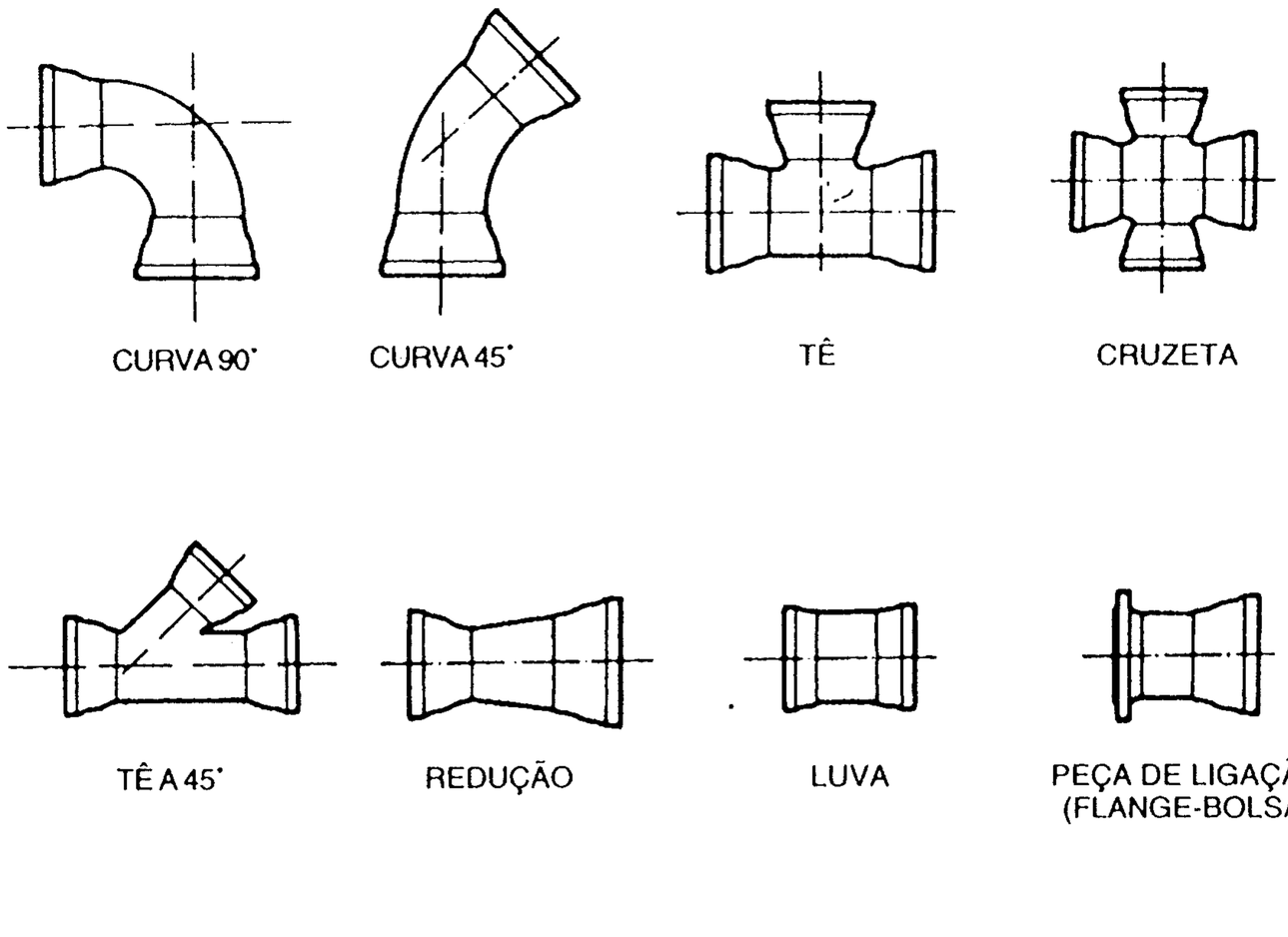


Fig. 5.7 Conexões de ponta e bolsa.

ses tubos, para uso com os sistemas de ligação já vistos no Item 3.13.1.

As conexões de ferro fundido, de ponta e bolsa, são fabricadas de 2" a 24", nas classes de pressão nominal 125# e 250#; os principais tipos são os seguintes: joelhos, curvas (90°, 45° e 22 ½°), tês, reduções, peças em "Y", cruzetas e peças para adaptação a válvulas flangeadas (Fig. 5.7).

Existem também conexões de ponta e bolsa de ferros-ligados, fabricadas em toda faixa de diâmetros usuais desses tubos. Fabricam-se ainda alguns tipos de conexões de ponta e bolsa (peças de derivação, principalmente) de barro vidrado e de cimento-amianto, embora sejam de uso relativamente raro.

As conexões para ligação de compressão são fabricadas em pequenos diâmetros (até 50-60 mm), de aço-carbono, aços inoxidáveis e metais não-ferrosos, sendo empregadas nas tubulações em que se emprega esse tipo de ligações. Encontra-se no comércio uma variedade grande dessas peças (Fig. 5.8), entre as quais: luvas e uniões de ligação, joelhos de 45°, 90° e 180°, tês, peças em "Y", conectores (para a ligação a válvula e equipamentos), reduções, tampões etc.

5.8 Curvas em Gomos e Derivações Soldadas

Além dos diversos tipos de conexões vistos nos itens anteriores, empregam-se também muito, nas tubulações industriais, outros recursos para realizar mudanças de direção(*) e fazer derivações, que são as curvas em gomos e as derivações soldadas (Fig. 5.9). Essas peças são usadas principalmente em tubulações de aço-carbono, e eventualmente em tubulações de materiais termoplásticos.

Curvas em gomos (mitre bends) — As curvas em gomos são feitas de pedaços de tubo cortados em ângulo e soldados de topo um em seguida do outro, como mostra a Fig. 5.9. Dependendo do número e do ângulo de inclinação dos cortes, podem-se conseguir curvas com qualquer ângulo de mudança de direção. As curvas de 90° costumam ter 3 ou, mais raramente, 4 gomos; as de 45° costumam ter 2 ou 3 gomos. Essas curvas têm, em relação às curvas sem costura de diâmetro e espessura iguais, uma resistência e uma flexibilidade bem menores. Além disso, tanto a resistência como a flexibilidade podem variar muito, dependendo das proporções da curva e dos cuidados no corte e na soldagem das peças. As arestas e soldas são pontos de concentração de tensões e também pontos especialmente sujeitos à corrosão e erosão. A concentração de tensões é tanto mais severa quanto menor for o número de gomos, menor

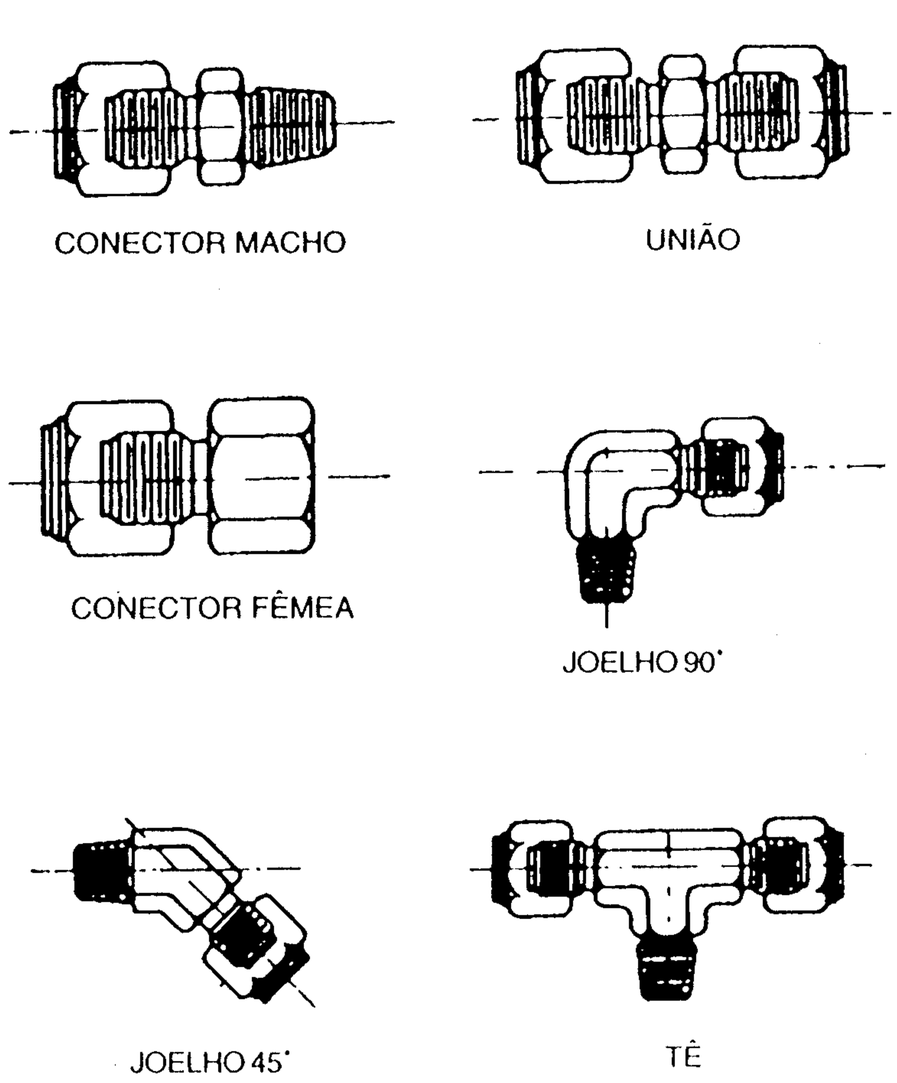
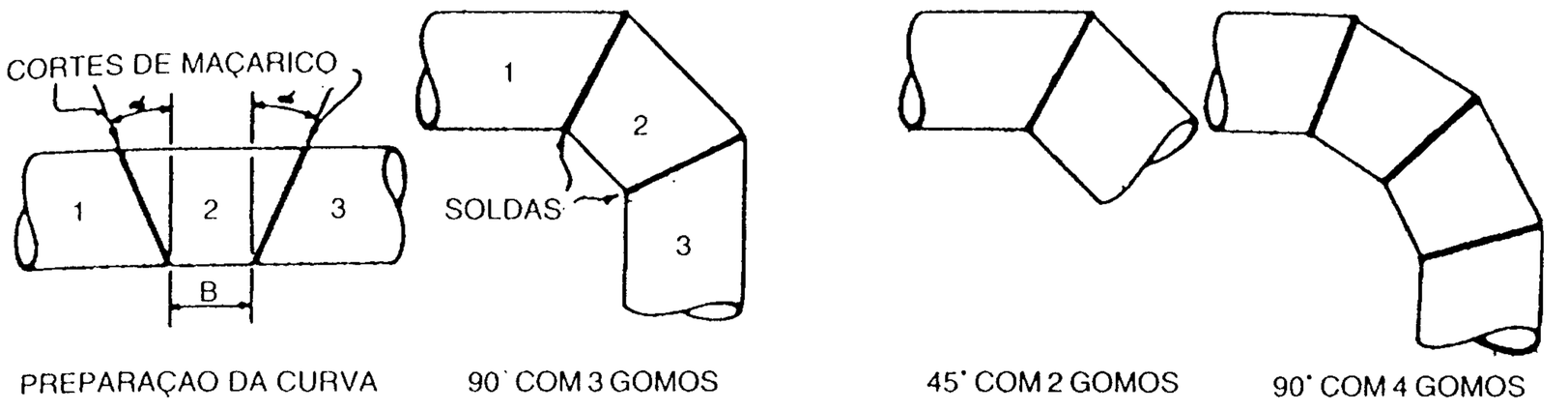


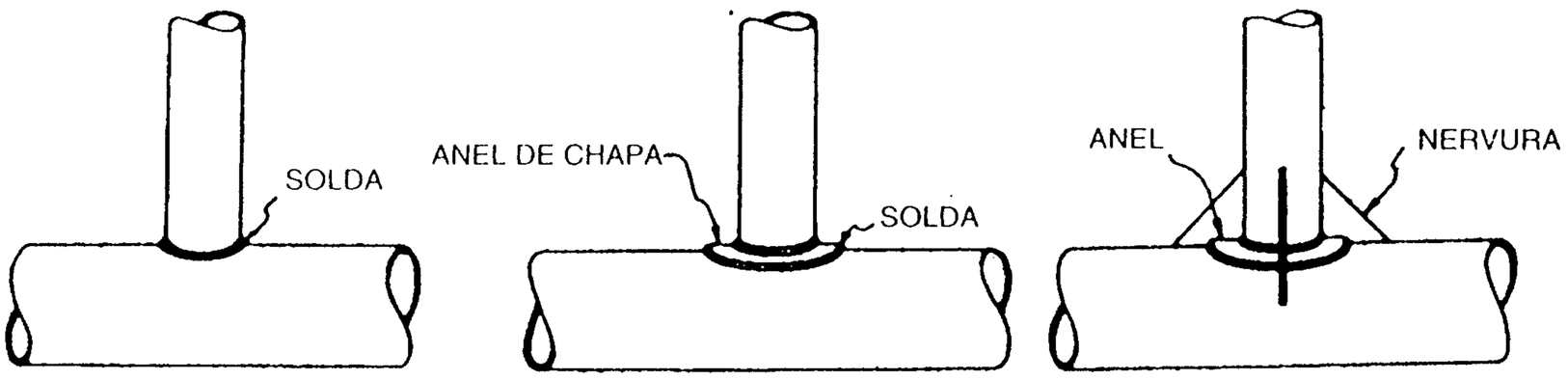
Fig. 5.8 Conexões para ligação de compressão. (*Cortesia da Parker-Hannifin Corp.*)

(*) Veja também as curvas de tubos curvados, nos Itens 10.9 e 15.2.

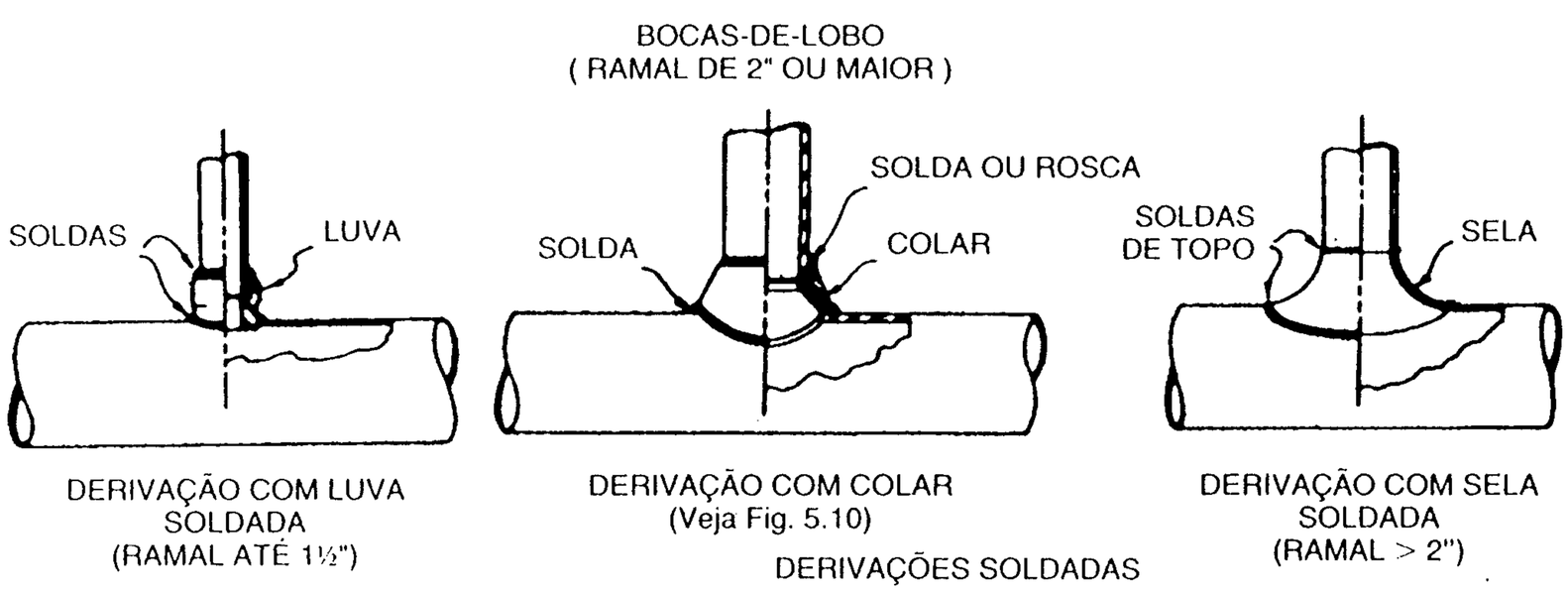


PREPARAÇAO DA CURVA — 90° COM 3 GOMOS — 45° COM 2 GOMOS — 90° COM 4 GOMOS

CURVAS EM GOMOS



DERIVAÇÃO DE TUBO CONTRA TUBO (Veja Fig. 5.11) — DERIVAÇÃO COM ANEL DE REFORÇO — DERIVAÇÃO COM ANEL E NERVURAS



DERIVAÇÃO COM LUVA SOLDADA (RAMAL ATÉ 1½") — DERIVAÇÃO COM COLAR (Veja Fig. 5.10) — DERIVAÇÃO COM SELA SOLDADA (RAMAL > 2")

DERIVAÇÕES SOLDADAS

Fig. 5.9 Curvas em gomos e derivações soldadas.

a distância entre as soldas e maior o ângulo de inclinação dos cortes. Por esse motivo, as normas de projeto fazem determinadas exigências sobre esses pontos, como explicado a seguir com referência à norma ASME.B.31.

As curvas em gomos são usadas principalmente nos seguintes casos:

— Para tubulações, em diâmetros acima de 20″, devido ao alto custo e dificuldade de obtenção de outros tipos de curvas de grande diâmetro.

— Para tubulações de pressões e temperaturas moderadas (classes de pressão 150# a 400# inclusive), em diâmetros acima de 8″, por motivo de economia.

A norma ASME.B.31.1 não permite o emprego de curvas em gomos para tubulações de fluidos altamente tóxicos, e para tubulações em geral faz as seguintes exigências sobre essas curvas:

— Serviços em pressões até 0,07 MPa (≅ 0,7 kg/cm²) e com até 7.000 ciclos de pressão e/ou de temperatura(*) durante a vida útil da tubulação: não há nenhuma exigência especial, desde que o fluido seja líquido, não-inflamável e não.

(*) A norma ASME.B.31 denomina "tubulação em serviço cíclico" aquela em que se tenha mais de 7.000 ciclos de variação completa de pressão e/ou de temperatura durante a vida útil prevista para a tubulação. Nessas condições, a norma admite a possível ocorrência de trincas por fadiga devido ao carregamento cíclico, e por esse motivo diversas exigências adicionais são feitas, como as exigências acima indicadas sobre curvas em gomos. Na prática industrial corrente é bastante raro que uma tubulação preencha as condições de serviço cíclico, o que exigiria, por exemplo, para uma vida útil de 20 anos, a ocorrência de pelo menos um ciclo por dia de pressurização e despressurização, ou de elevação e queda da temperatura, desde o máximo até o mínimo dos valores dessas grandezas. Em quase todas as instalações industriais, a grande maioria das tubulações opera em regime contínuo em situação praticamente estável de pressão e de temperatura durante muitos meses a fio, entre cada duas paradas de manutenção da instalação.

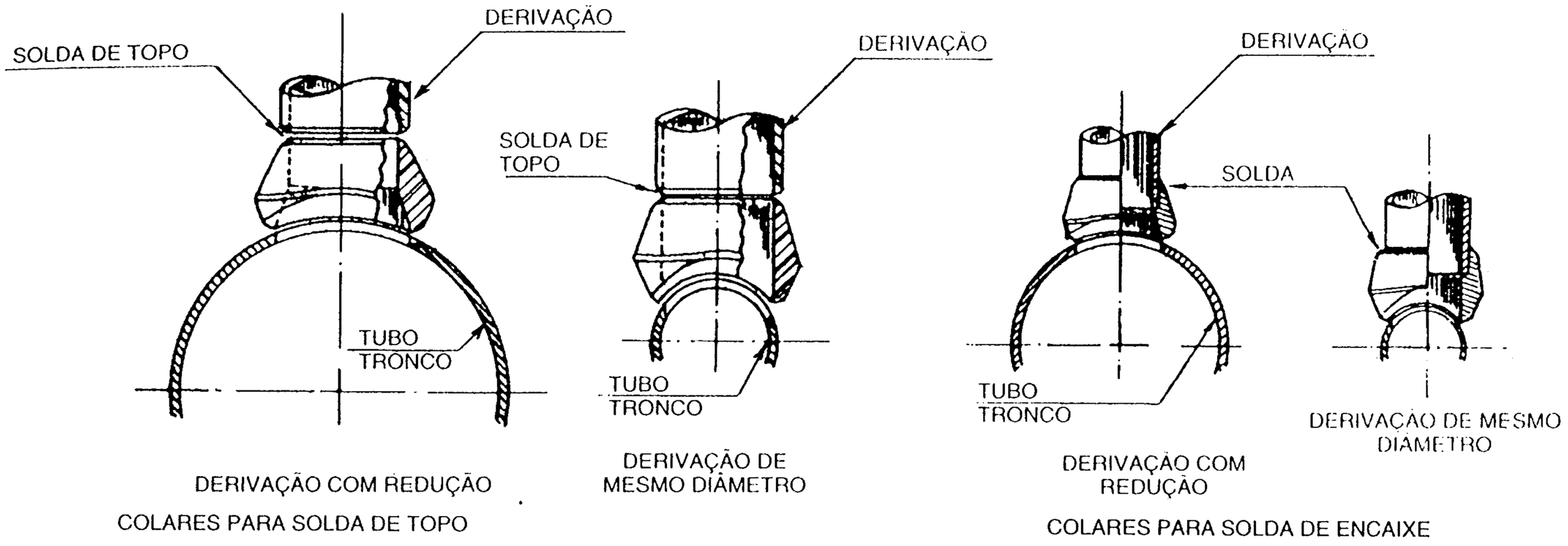


Fig. 5.10 Colares forjados para derivações.

tóxico. Para serviços enquadrados na "Categoria D"(*), permite-se que o ângulo α seja superior a 45° (veja Fig. 5.9).

— Serviços em pressões até 0,7 MPa ($\cong$ 7 kg/cm^2), e com até 7.000 ciclos de pressão e/ou temperatura: permite-se que seja desprezado o efeito de concentração de tensões, desde que o ângulo α, formado por qualquer plano de corte com a circunferência do tubo, seja inferior a 22½°, a distância mínima B entre dois cortes seja superior a 6 vezes a espessura do tubo e as soldas sejam de penetração total.

— Serviços em pressões acima de 0,7 MPa, ou com mais de 7.000 ciclos de pressão e/ou de temperatura: exige-se o cálculo matemático do efeito de fadiga e de concentração de tensões (de acordo com os Apêndices 4 e 5 da "Divisão 2", do Código ASME para caldeiras e vasos de pressão, Seção VIII), a menos que seja feita uma prova real de pressão (proof-test), ou que haja experiência anterior comprovada em serviço semelhante ou mais severo.

De acordo com a norma ASME.B.31.3, as curvas em gomos com o ângulo α superior a 22 ½° não são permitidas para as tubulações enquadradas na "Categoria M" (veja Item 2.7), e as curvas com o ângulo α superior a 45° só são permitidas para as tubulações de "Categoria D".

Ambas as normas citadas não consideram como sendo curva em gomos uma mudança de direção onde haja um único corte, com ângulo α inferior a 3°. Ambas as normas também chamam atenção que a pressão máxima admissível de uma curva em gomos é sempre inferior à pressão máxima admissível de um tubo de mesmo diâmetro, espessura e material; por esse motivo, em alguns casos, é necessário que a curva em gomos tenha uma espessura maior do que os tubos aos quais está ligada. Veja no Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo", já aqui citado, o cálculo de espessura para as curvas em gomos.

Embora não seja proibido por norma, não é usual o uso de curvas em gomos em tubulações de aços-liga ou inoxidáveis. Em tubulações de materiais termoplásticos, as soldas devem ser feitas a topo, por aquecimento e compressão.

(*)Veja Item 2.7

Derivações soldadas — Existem muitos tipos de derivações soldadas, feitas sem o emprego de peças em "Tê", seja como tubos soldados diretamente um no outro, seja com o auxílio de luvas, colares ou selas (Fig. 5.9); essas derivações aplicam-se a tubulações de qualquer tipo de aço: aço-carbono, aços-liga e aços inoxidáveis.

Para ramais pequenos, até 2″ de diâmetro, é usual o emprego de uma luva (rosqueada ou para solda de encaixe), soldada diretamente ao tubo-tronco, desde que esse último tenha pelo menos 4″ de diâmetro. A norma ASME.B.31.3 admite esse sistema, para ramais até 2″, sem limitações locais, desde que as luvas tenham resistência suficiente e desde que a relação entre os diâmetros normais do tubo-tronco e da derivação seja igual ou superior a 4.

Os ramais de quaisquer diâmetros, acima de 1″, podem ser feitos com o uso de "selas" ou de "colares", que são peças forjadas especiais, soldadas ao tubo-tronco, servindo também como reforço de derivação. Com essas peças podem-se fazer inclusive ramais com o mesmo diâmetro do tubo-tronco, admitindo as normas esse sistema de derivações sem limitações de pressão, temperatura ou classe de serviço. Os colares podem ter a extremidade para solda de topo (weldolets), para solda de encaixe (socklets), ou rosqueada (threadolets), conforme o sistema de ligação do colar ao tubo derivação (Fig. 5.10); os colares para solda de encaixe e rosqueados são empregados para ramais com diâmetro nominal até 1 ½″–2″, e os colares para solda de topo para ramais com diâmetro maior.

Para os ramais de 2″ ou mais, desde que o diâmetro do tubo-tronco seja maior do que o diâmetro do ramal, o sistema mais usual em tubulações industriais é a solda direta de um tubo no outro (boca-de-lobo), As bocas-de-lobo podem ser sobrepostas (set-on) ou penetrantes (set-in), também chamadas de inseridas, como mostra a Fig. 5.11. As sobrepostas são mais baratas, de execução mais fácil e dão menores tensões residuais de soldagem, sendo por isso empregadas na maioria dos casos, embora tenham menor resistência mecânica. As penetrantes têm maior resistência, resultando, porém, em maiores tensões residuais de soldagem, sendo usadas principalmente em tubulações de parede muito espessa, para pressões muito altas, e para as

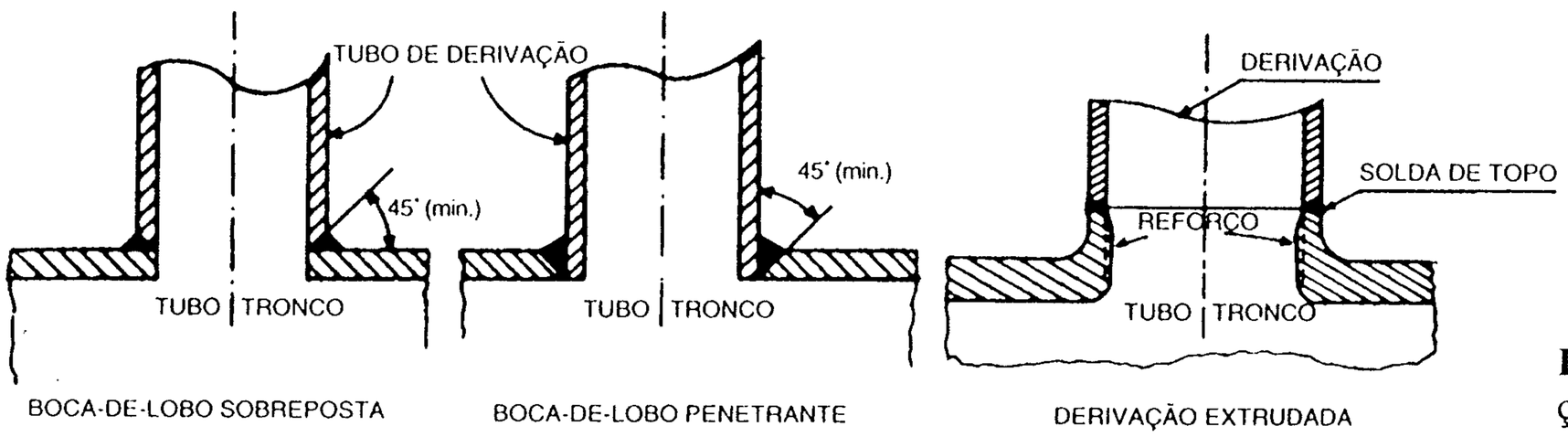


Fig. 5.11 Bocas-de-lobo e derivação extrudada.

quais deva ser feito o tratamento térmico de alívio de tensões. A norma ASME.B.31 (Seções 1 e 3) aceita ambos esses tipos de derivação, para quaisquer condições de pressão e temperatura, indicando detalhadamente os casos em que são necessários reforços locais, e dando as fórmulas para o cálculo dos mesmos, desde que os eixos de derivação e do tubo-tronco sejam concorrentes, e que o ângulo entre eles esteja compreendido entre 45° e 90°. A única limitação dessa norma para essas derivações é a proibição do emprego de bocas-de-lobo sobrepostas para tubulações de fluidos altamente tóxicos (Categoria M). Os reforços consistem geralmente em um anel de chapa envolvendo a derivação e soldado no tubo-tronco e na derivação. No Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo" está explicado como deve ser feito o cálculo desses reforços.

As bocas-de-lobo são desaconselhadas para serviços sujeitos a fortes vibrações ou altamente cíclicos.(*)

Outro sistema que pode ser empregado para ramais de 2", ou maiores, são as derivações extrudadas, obtidas por estampagem do tubo-tronco, e ligadas por solda de topo, como também mostra a Fig. 5.11. Essas derivações são permitidas pelas normas, sem limitações de serviço e de pressão e temperatura, desde que sejam atendidas algumas exigências geométricas detalhadas pelas normas. As derivações extrudadas têm a vantagem de ter a solda facilmente radiografável, o que não acontece com ambos os tipos de bocas-de-lobo.

Finalizando, podemos fazer a seguinte comparação geral entre os diversos sistemas de derivações soldadas:

— Bocas-de-lobo simples

Vantagens: Baixo custo, facilidade de execução (uma única solda), não há necessidade de peças especiais.

Desvantagens: Fraca resistência, concentração de tensões, perda de carga elevada, controle de qualidade e inspeção radiográfica difíceis. Alguns projetistas limitam o seu uso somente para a classe de pressão 150#.

— Bocas-de-lobo com anel de reforço

Vantagens: As mesmas do caso anterior, resistência mecânica melhor, concentração de tensões mais atenuada.

Desvantagens: Perda de carga elevada, controle de qualidade e inspeção radiográfica difíceis. Alguns projetistas proíbem o seu emprego para as classes de pressão 900# ou maior.

— Derivações com colares forjados

Vantagens: Boa resistência mecânica, melhor distribuição de tensões, melhor controle de qualidade, não há limitações de serviço ou de pressão e temperatura.

Desvantagens: Maior custo e necessidade do emprego de uma grande variedade de peças — o que dificulta a montagem e a estocagem dos materiais —, porque cada tipo de peça só se adapta a umas poucas combinações de diâmetros e espessuras; além disso, a solda do colar no tubo-tronco é sempre de difícil execução e inspeção. Comparando-se um "Tê" para solda de topo com um colar, vê-se que o "Tê" exige três soldas, ao passo que o colar apenas duas, mas todas as soldas do "Tê" são de topo e de fácil inspeção.

— Derivações com selas

Vantagens: Excelente resistência mecânica, baixa perda de carga, melhor distribuição de tensões, não há limitações de serviço ou de pressão e temperatura para o emprego.

Desvantagens: Custo elevado (não há fabricação nacional dessas peças), necessidade de peças especiais, montagem difícil.

A Fig. 5.12 mostra um gráfico-resumo das recomendações usuais de emprego dos diversos sistemas para fazer derivações em tubulações de aço — qualquer tipo de aço—, incluindo-se os Tês e as derivações soldadas, de acordo com o critério da norma N-1693, da Petrobrás.

5.9 Outros Acessórios de Tubulação

Existem ainda em uso corrente alguns outros acessórios de tubulação, entre os quais podemos citar os seguintes:

— Peças "figura 8" (spectacle flanges).
— Raquetas (paddle blinds).
— Juntas giratórias (swivel joints).
— Discos de ruptura.

As peças "figura 8" e as raquetas são acessórios que se instalam em uma tubulação quando se deseja um bloqueio rigoroso e absoluto na tubulação. Esses acessórios são empregados também, algumas vezes, em lu-

(*) A norma API-RP-14E, do American Petroleum Institute, relativa a tubulações em plataformas marítimas de exploração de petróleo, desaconselha formalmente o emprego de bocas-de-lobo para fazer derivações, alegando os inconvenientes do mau desempenho hidráulico, concentração de tensões e dificuldades de execução e de inspeção das soldas. Essa posição é justificável devido ao alto risco dessas tubulações. Em outras tubulações de menor risco — como são aliás a maioria das tubulações industriais, mesmo para os serviços considerados severos —, as bocas-de-lobo são usualmente aceitas e empregadas.

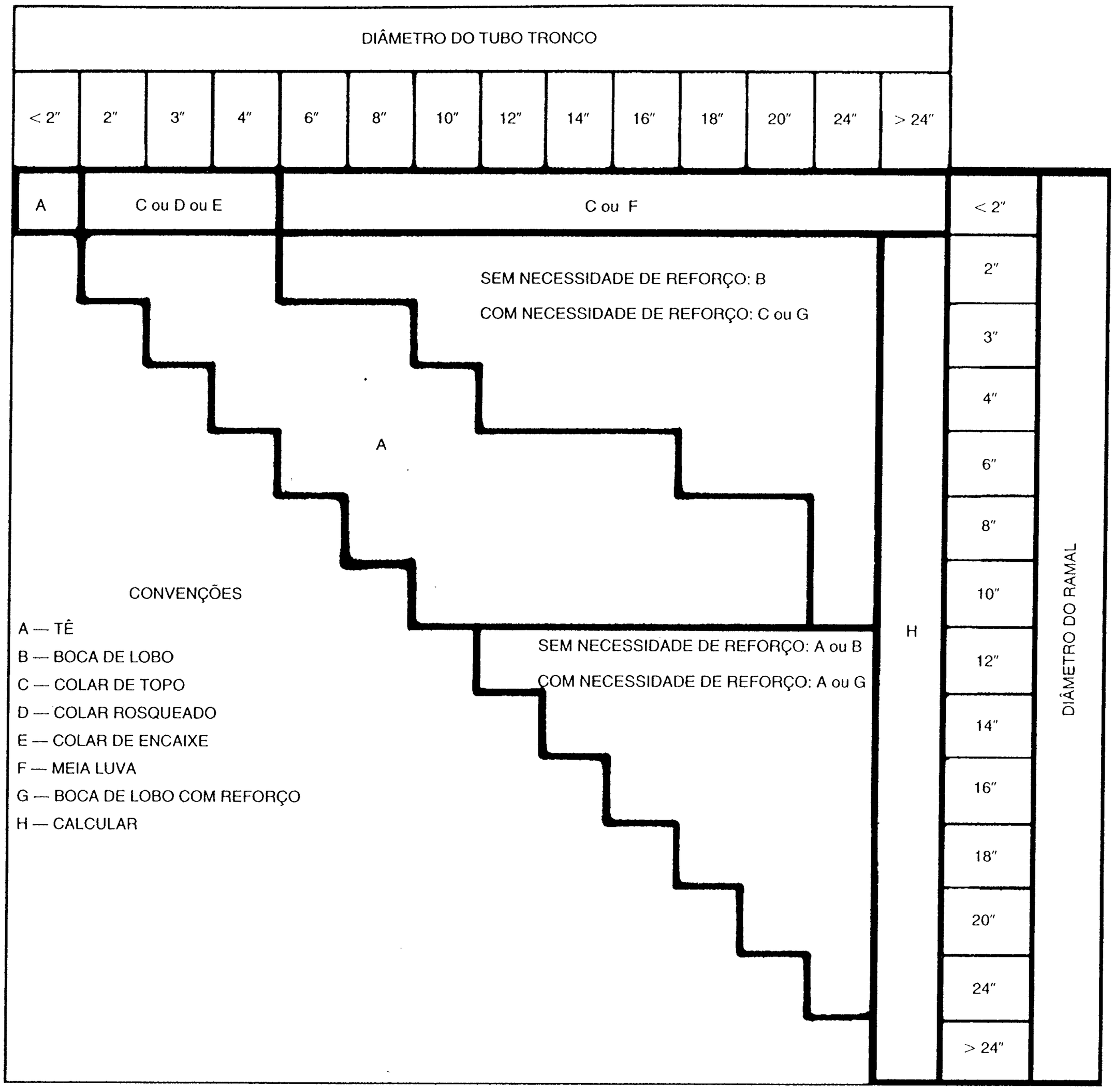


Fig. 5.12 Campos de aplicação dos diversos sistemas de derivações soldadas. (Extraído da norma N-1693, de PETROBRÁS — *Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS*)

gar das válvulas, por motivo de economia ou em locais onde o bloqueio da tubulação só seja preciso fazer esporadicamente.

A Fig. 5.13 mostra exemplos de peças "figura 8" e de raquetas, que são acessórios simples, feitos de chapa de aço recortada. Essas peças são colocadas entre dois flanges quaisquer da tubulação; com o aperto dos parafusos dos flanges consegue-se a vedação absoluta da linha. As peças "figura 8" ficam permanentemente na tubulação; quando se deseja bloquear o fluxo põe-se o lado cheio entre os flanges, e quando se quer permitir o fluxo põe-se o lado vazado entre os flanges. As raquetas são colocadas na tubulação apenas quando se quer bloquear. As peças "figura 8" têm por isso a vantagem de manter sempre a mesma distância entre os flanges.

As peças "figura 8" e as raquetas são empregadas, na maioria das vezes, junto a uma válvula de bloqueio, e colocadas diretamente em um dos flanges dessa válvula. Quando se deseja o bloqueio absoluto da tubulação, a manobra é a seguinte: fecha-se a válvula de bloqueio, drena-se o trecho de tubulação do lado em que for ficar a peça, desapertam-se os parafusos dos flanges colocando-se entre os flanges a raqueta ou o lado fechado da "figura 8", e apertam-se novamente os parafusos. Evidentemente, devem ser colocadas juntas de ambos os lados da raqueta ou da "figura 8", e os parafusos têm de ser mais compridos do

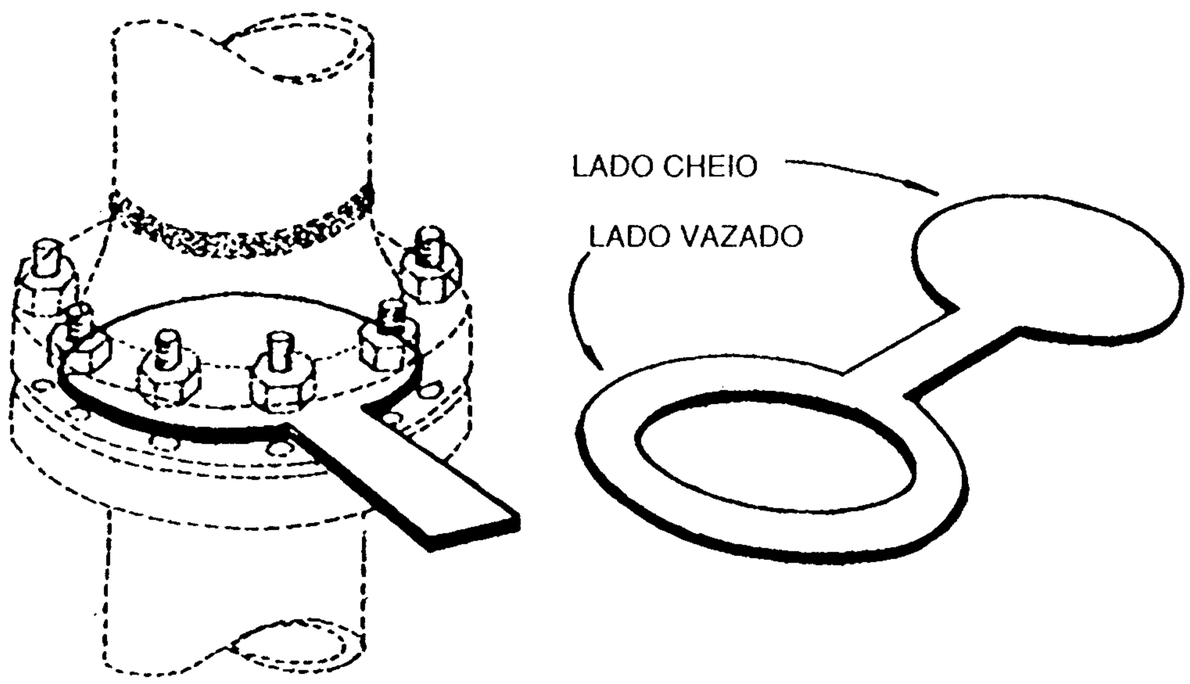


Fig. 5.13 Raqueta e peça "figura 8".

que os parafusos usuais dos flanges. Para abrir o bloqueio é feita a mesma manobra em sentido inverso.

As juntas giratórias são acessórios que permitem o movimento de rotação axial, em torno de um eixo passando pela linha de centro do tubo. Consistem essencialmente em duas peças cilíndricas concêntricas capazes de deslizar uma em torno da outra. Para evitar vazamentos, todas as juntas giratórias têm um sistema qualquer de engaxetamento ou de retentores. As juntas giratórias, que são fabricadas apenas em tamanhos pequenos (raramente acima de 4"), são usadas em locais em que seja necessário ter-se movimento de rotação axial como, por exemplo, nas instalações de enchimento de veículos e de vasilhames.

Os discos de ruptura são peças muito simples, destinadas a proteger uma tubulação contra sobrepressões internas, fazendo, portanto, o mesmo serviço das válvulas de segurança e de alívio. São discos de chapa fina resistente à corrosão, colocados em um extremo livre da linha, imprensados entre dois flanges. A chapa fina é calculada e construída para se romper com um determinado valor da pressão interna. Os discos de ruptura são freqüentemente usados em combinação com uma válvula de segurança, e colocados antes da válvula. Existem discos de ruptura com uma pequena carga explosiva, de modo que podem ser rompidos quando necessário, por ação externa, manual ou automaticamente.

6

JUNTAS DE EXPANSÃO

6.1 JUNTAS DE EXPANSÃO

As juntas de expansão são peças deformáveis que se intercalam nas tubulações com a finalidade de absorver total ou parcialmente as dilatações provenientes das variações de temperatura e também, em alguns casos, com a finalidade de impedir a propagação de vibrações ou de esforços mecânicos.

Na prática industrial corrente, considerando-se o total das tubulações industriais, as juntas de expansão são peças pouco empregadas: na grande maioria dos casos é muito preferível fazer-se o controle das dilatações térmicas simplesmente por um traçado conveniente dado à tubulação, com diversas mudanças de direção, de maneira que a tubulação tenha flexibilidade própria suficiente, como veremos no Cap. 10.

São os seguintes os principais casos em que se justifica o emprego de juntas de expansão:

1. Quando o espaço disponível é insuficiente para que se possa ter um trajeto da tubulação com flexibilidade capaz de absorver as dilatações(*).

2. Em tubulações para serviços de baixa responsabilidade ("Categoria D", da norma ASME B. 31.3, por exemplo), para condensado, vapor de baixa pressão, água quente etc., quando o emprego de juntas de expansão representar uma alternativa mais econômica em relação ao traçado não-retilíneo necessário.

3. Em tubulações de diâmetro muito grande (acima de 20″), ou de material muito caro, onde haja interesse econômico em se fazer o trajeto o mais curto possível. Um trajeto mais longo para uma tubulação aumenta não só o custo da tubulação em si, como também o custo das fundações, estruturas de suporte etc., principalmente no caso de tubos pesados, de grande diâmetro.

4. Em tubulações que por exigências de serviço devam ter trajetos diretos retilíneos, quando há, por exemplo, exigência de um mínimo de perda de carga. É o caso também, muitas vezes, de tubulações curtas e de grande diâmetro para a ligação direta entre dois equipamentos.

5. Em tubulações sujeitas a vibrações de grande amplitude, ou ligadas a equipamentos que não possam sofrer esforços externos transmitidos pela tubulação. É o caso, por exemplo, da tubulação de saída de compressores alternativos e de outras máquinas que produzem fortes vibrações (veja Item 12.6.1).

Comparando-se uma tubulação retilínea, contendo uma junta de expansão, com outra com um traçado não-retilíneo capaz de absorver uma dilatação equivalente, verifica-se que a tubulação não-retilínea, devido ao maior comprimento necessário, conduz a maiores valores das perdas de carga e das perdas de calor, acréscimo esse que pode chegar a 20%. Em compensação, as juntas de expansão são em geral mais caras do que o comprimento adicional de tubo, principalmente para pequenos diâmetros. Entretanto a desvantagem séria de todas as juntas de expansão — que desaconselha o seu emprego na maioria dos casos — é o fato de constituírem sempre pontos fracos na tubulação, com resistência bem inferior à da própria tubulação, além de sujeitas a vazamentos ou mesmo a ruptura súbita, com grande perda de fluido, necessitando assim de um constante cuidado de inspeção e manutenção. Por esse motivo, em tubulações de responsabilidade, principalmente com fluidos perigosos, recomenda-se evitar o uso de juntas de expansão, empregando-as somente quanto não houver outra solução viável.

Para a encomenda de juntas de expansão, pelo menos os seguintes dados devem ser fornecidos:

- Natureza e propriedades completas do fluido ou dos fluidos conduzidos.
- Pressão e temperatura de operação e de projeto, variações possíveis da pressão e da temperatura, com indicação dos valores máximos e mínimos e, se possível, da duração prevista dessas variações.
- Tipo da junta requerida; não só o tipo geral, como também detalhes desejados (tirantes, camisa interna, anéis de equalização etc.), como detalhado, a seguir, neste capítulo.
- Diâmetro nominal do tubo, tipo de ligação da junta à tubulação (flange, solda, rosca), com especificação completa.

(*) Esse é, por exemplo, o caso das tubulações em praças de máquinas de navios, onde as juntas de expansão são muito empregadas. Não estamos, entretanto, tratando neste livro dessa classe de tubulações.

— Material da tubulação (especificação completa). Condições especiais de corrosão, de abrasão ou de erosão, se houver.
— Especificação completa do isolamento térmico, se houver.
— Posição de trabalho da junta (vertical, horizontal, inclinada). Cargas que estejam agindo sobre a junta. Dimensões máximas que deva ter a junta, caso existam limitações de espaço.
— Valores dos movimentos axial (distensão ou contração), angular, lateral ou combinações desses, que a junta deva absorver. No Item a seguir trataremos especificamente dos movimentos das juntas de expansão; a Fig. 6.1 mostra os tipos fundamentais desses movimentos.
— Freqüência dos ciclos de aquecimento e resfriamento da tubulação e tempo de vida útil requerido para a junta de expansão.
— Normas, códigos ou especificações que devam ser obedecidos para a fabricação, inspeção e teste da junta.
— Esquema da tubulação onde ficará a junta mostrando o sistema de suportes.

No caso das juntas de expansão empregadas para proteger equipamentos que não possam sofrer grandes esforços transmitidos pelas tubulações, é indispensável que o fabricante da junta de expansão seja informado do valor dos esforços máximos (forças e momentos) que o equipamento poderá suportar.

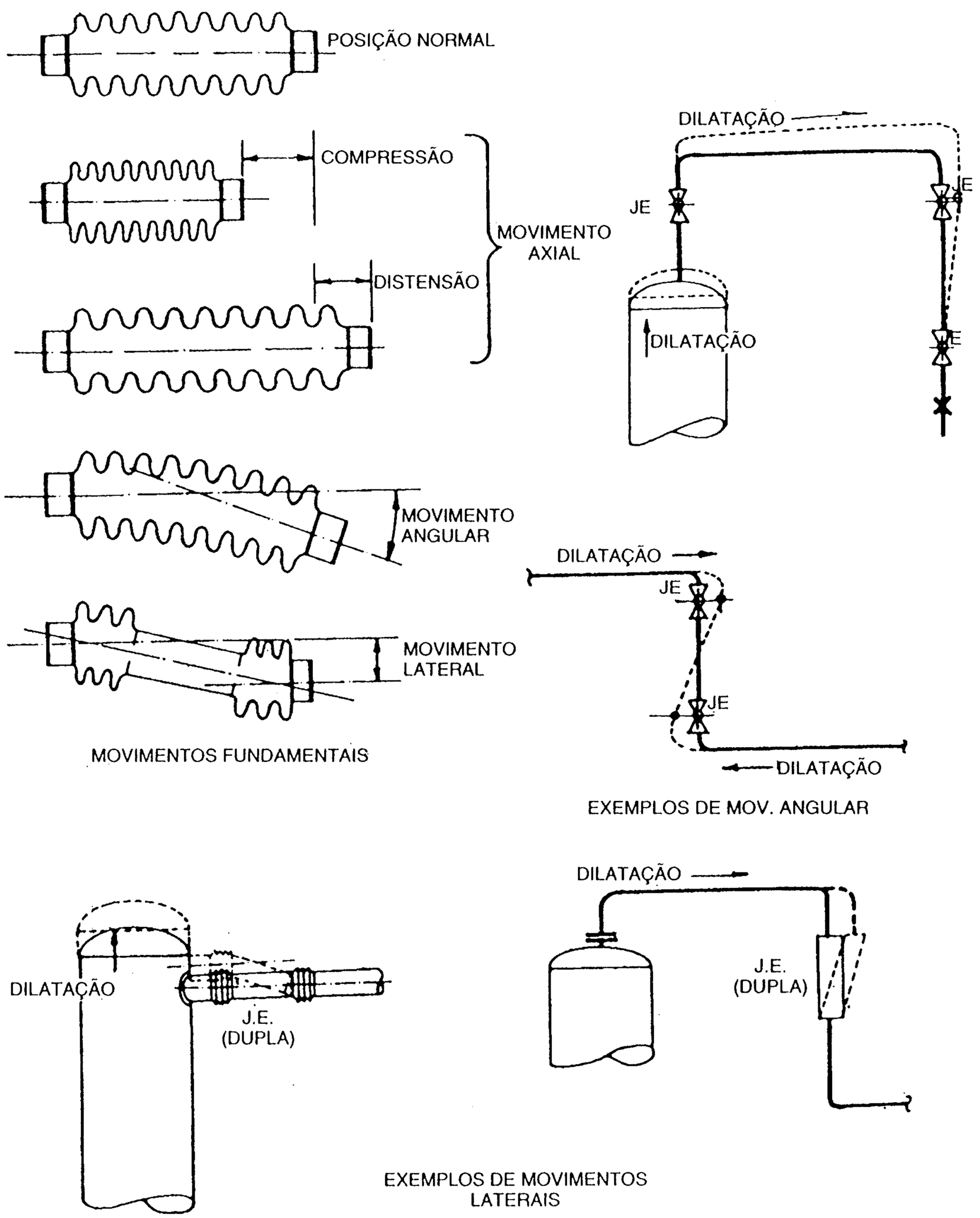


Fig. 6.1 Tipos de movimentos nas juntas de expansão.

Existem dois tipos gerais de juntas de expansão: juntas de telescópio e juntas de fole. As juntas de telescópio só podem ser empregadas em tubulações para serviços de baixa responsabilidade (caso de emprego 2, acima). As juntas de fole podem ser empregadas em quaisquer dos casos de emprego.

6.2 Movimentos das Juntas de Expansão

A Fig. 6.1 mostra os três tipos fundamentais de movimentos que pode ter uma junta de expansão: movimento axial, movimento angular e movimento lateral (off-set). O movimento axial, que pode ser de compressão, de distensão, ou ambos, é o tipo de movimento mais comum, proveniente, em geral, da dilatação de trechos de tubulações ligados à junta de expansão. Esse tipo de movimento ocorre, por exemplo, nas linhas retilíneas providas de juntas de expansão.

Os movimentos angulares e laterais são características de juntas de expansão situadas em tubulações curtas entre dois vasos ou equipamentos. Esses movimentos em geral se dão, como mostram alguns exemplos da Fig. 6.1, em conseqüência da dilatação própria desses vasos ou equipamentos.

As juntas de expansão podem ter, evidentemente, não só esses três movimentos básicos, como também quaisquer combinações dos mesmos.

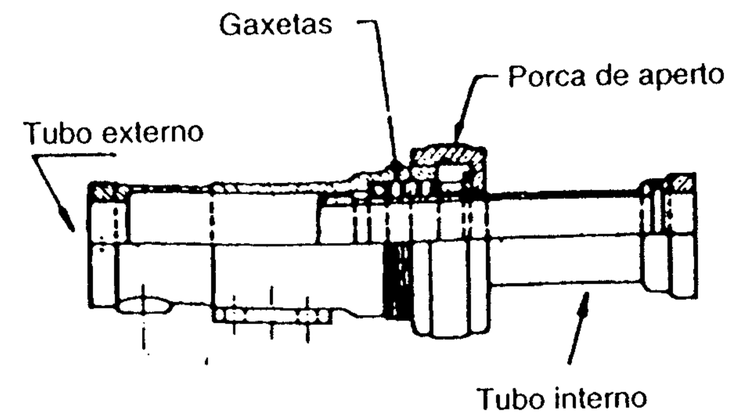
Com exceção das juntas articuladas, destinadas exclusivamente a movimentos angulares, qualquer outro tipo de junta de expansão deve obrigatoriamente estar situado entre dois pontos fixos do sistema, entendendo-se por pontos fixos as ancoragens de tubulação (veja Item 11.10) e os bocais de equipamentos que possuam fundação própria. Em alguns casos, como o exemplo da Fig. 6.2(b), a ancoragem faz parte da própria junta de expansão. Entre dois pontos fixos só pode haver uma única junta de expansão simples.

Para as juntas articuladas exige-se que o sistema seja geometricamente estável, não podendo por isso existirem mais de três juntas de expansão entre dois pontos fixos do sistema.

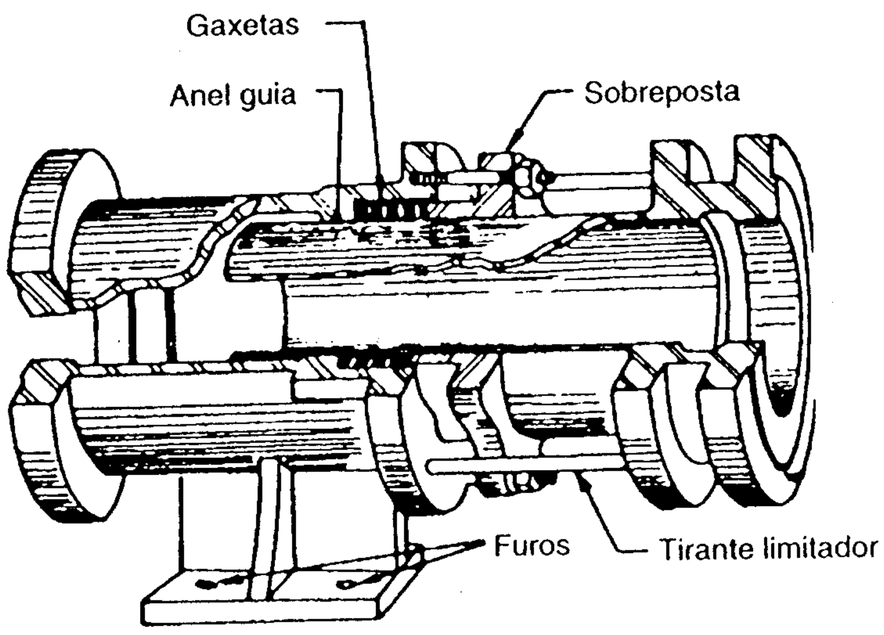
6.3 Juntas de Telescópio

As juntas de expansão de telescópio (slide joints) consistem basicamente em dois pedaços de tubo concêntricos, que deslizam um sobre o outro, cada um ligado a um dos extremos da junta (Fig. 6.2). Essas juntas, como é evidente, só podem absorver movimentos axiais das tubulações; por essa razão devem ser adotadas medidas convenientes para impedir esforços laterais ou momentos de rotação sobre as juntas, porque tais esforços as danificariam em pouco tempo. Voltaremos a esse assunto no Cap. 11.

As juntas de telescópio de diâmetros acima de 3″ e de boa qualidade costumam ter, por isso, um sistema qualquer de guias para dirigir o movimento axial, evitando desalinhamentos e rotações causados por esforços laterais,



a) JUNTA PEQUENA ROSQUEADA



b) JUNTA FLANGEADA
COM PÉ DE ANCORAGEM

Fig. 6.2 Juntas de expansão de telescópio. [*Cortesia de Adsco Division* (*Yuba Consolidated Industries Inc.*)].

principalmente quando a junta está aberta. Essas guias podem ser internas, externas ou ambas.

Todas as juntas de telescópio devem ter um dispositivo limitador de curso, que impeça o desengate por abertura excessiva. Esses dispositivos podem ser batentes internos ou externos, ou também tirantes limitadores reguláveis. Alguns modelos de juntas possuem pés de fixação que trabalham como pontos de ancoragem da tubulação.

As juntas de telescópio são fabricadas de aço fundido, ferro fundido, ferro fundido nodular e bronze, em diâmetros nominais até 24″ para pressões até 4 MPa ($\cong$ 40 kg/cm^2) e com curso até de 300 mm. Os extremos para ligação nas tubulações podem ser, ou para solda de topo, ou ainda rosqueados, nos diâmetros até 4″. Na maioria das vezes há uma caixa de gaxetas convencional, com sobreposta e parafusos de aperto — para conseguir a vedação entre o tubo externo e o tubo interno —, podendo ser substituída por uma porca de aperto, nas juntas pequenas e baratas.

As juntas de telescópio são empregadas principalmente para tubulações de vapor de baixa pressão, de condensado ou de água quente — ou outros serviços de "Categoria D" da norma ASME B. 31.3 —, quando resultarem em uma solução mais econômica para a tubulação, ou em locais apertados ou congestionados, onde não é possível dar um desenvolvimento adequado para a flexibilidade da tubulação. As juntas de telescópio só devem ser usadas para serviços não severos (veja Item 3.14) e onde os

movimentos não sejam freqüentes, porque a movimentação freqüente fatalmente causará vazamentos. O engaxetamento é sempre uma causa de possíveis vazamentos, e por isso essas juntas não devem ser empregadas, em nenhum caso, para serviços de responsabilidade ou com qualquer fluido perigoso.

As juntas tipo "Dresser", e outras semelhantes, a que já nos referimos no Item 3.13, podem também ser empregadas como juntas de expansão, para absorver pequenas dilatações, em tubulações de baixa responsabilidade, para fluidos não perigosos.

6.4 JUNTAS DE FOLE

As juntas de fole (packless, bellows joints) consistem essencialmente em um fole com uma série de gomos feitos de uma chapa fina flexível (Fig. 6.3). Como não possuem gaxetas não há o risco de vazamentos, e a manutenção é bem menor comparativamente com as juntas de telescópio. Por essa razão, podem ser usadas em serviços severos, mesmo com fluidos perigosos (inflamáveis, tóxicos etc.).

Ainda assim, todas as juntas de fole são também pontos fracos na tubulação, devido ao fole de chapa fina, cuja resistência mecânica é muito menor do que a dos tubos, além de ser uma peça submetida a deformações, e por isso mais sujeita a problemas de fadiga e de corrosão e erosão.

O grande risco de acidentes nessas juntas é a ruptura súbita do fole, que pode causar vazamentos consideráveis ou até um desastre de proporções. Por essa razão, em juntas importantes, a construção do fole deve ser extremamente cuidadosa. As soldas devem ser todas de topo, no menor número possível, localizadas de forma a sofrerem o mínimo com a deformação do fole, e absolutamente perfeitas. O fole deve ser sempre de material seguramente resistente à corrosão e construído a partir de um tubo sem costura, ou, pelo menos, com uma única costura soldada longitudinal, não sendo permitidas, em caso algum, costuras soldadas circunferenciais. Devem ser feitos obrigatoriamente todos os testes não destrutivos compatíveis com o material e a espessura da chapa (raios X, exame com partículas magnéticas ou com líquidos penetrantes etc.). Depois da junta instalada e em serviço, deve haver periodicamente uma inspeção meticulosa do fole, por fora e por dentro.

As juntas de fole, dependendo do modelo, podem permitir qualquer tipo ou combinação de movimentos.

Em todas as juntas de fole, o esforço axial necessário para comprimir ou para distender a junta é bem menor do que o esforço correspondente em uma junta de telescópio para o mesmo diâmetro e pressão de trabalho.

Nenhuma junta de fole é completamente drenável quando em posição horizontal, isto é, há sempre uma certa quantidade de líquido que fica retido nas corrugações. Quando em posição vertical, há algumas juntas que são completamente drenáveis, e outras não, dependendo do formato dos gomos do fole. Note-se que mesmo ínfimas quantidades de líquidos, quando retidas no fole de chapa fina, podem causar sérios problemas de corrosão.

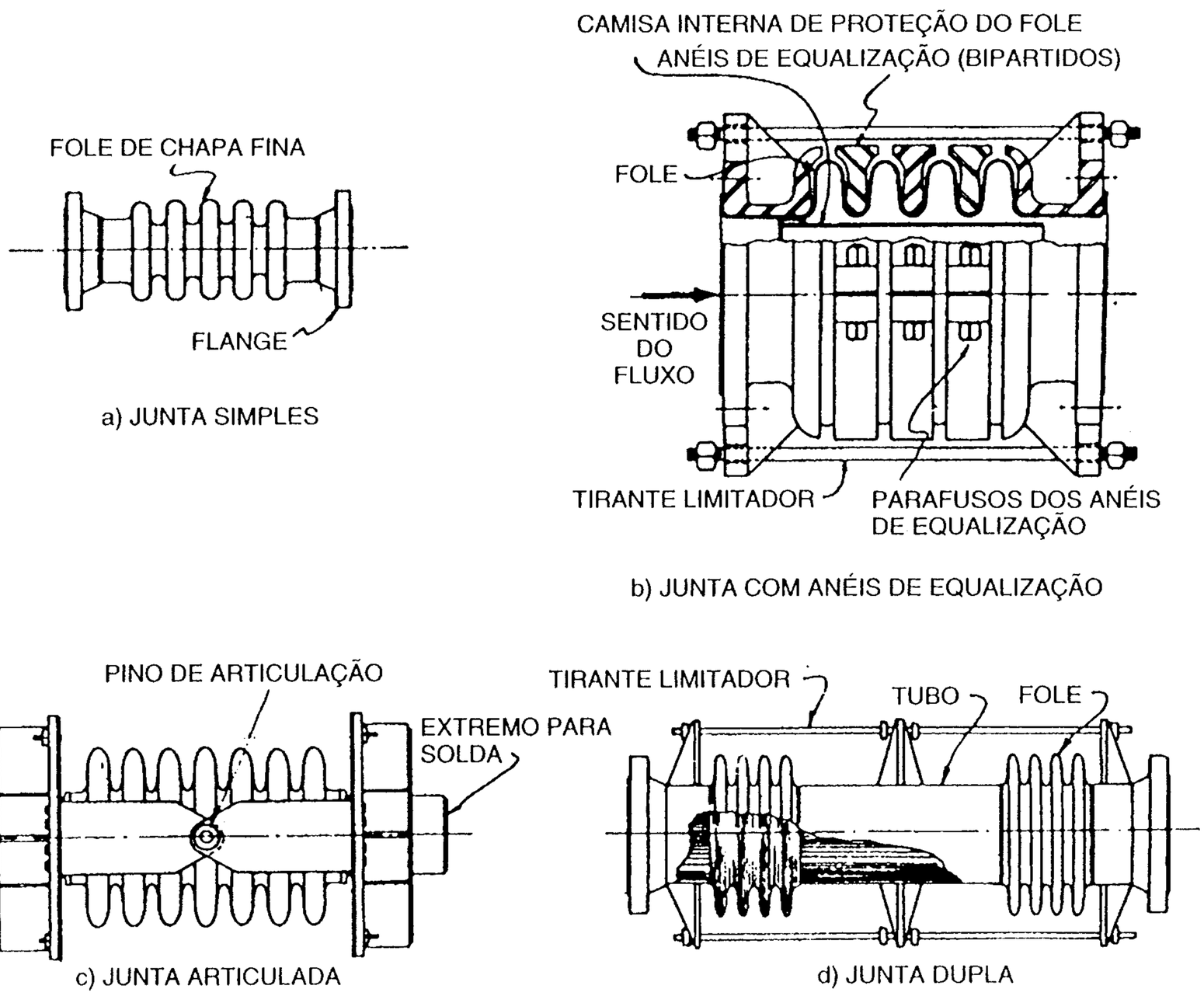


Fig. 6.3 Juntas de expansão de fole. [*(b) Cortesia da Zallea Brothers Inc.*].

A seleção do formato dos gomos do fole é um fator fundamental para a correta especificação da junta de expansão, tendo em vista as suas condições de serviço. Embora essa seleção seja geralmente feita pelo fabricante da junta, é importante assinalar as recomendações gerais de emprego dos tipos mais comuns de gomos do fole.

1. Fole de membrana [Fig. 6.4 (*a*)]. Destina-se especificamente a juntas de expansão de baixa pressão e para grandes movimentos, porque o esforço de pressão pode gerar tensões elevadas nas corrugações.

2. Fole toroidal [Fig. 6.4 (*b*)]. Destina-se a juntas para altas pressões e pequenos movimentos, porque, contrariamente ao tipo anterior, resiste bem à pressão, mas um grande movimento pode gerar tensões elevadas no fole.

3. Fole em "U" ("U" shape) [Fig. 6.4 (*c*)]. É um tipo intermediário entre os dois anteriores, combinando uma razoável capacidade de absorver as tensões devido à pressão, com razoável capacidade de absorver movimentos. É também o tipo mais comum de fole.

4. Fole de parede múltipla (multi-layer) [Fig. 6.4 (*d*)]. É um fole fabricado a partir de vários cilindros concêntricos, garantindo assim melhor resistência à pressão interna, sem grande aumento na rigidez para absorver os movimentos.

6.5 Tipos de Juntas de Expansão de Fole

São os seguintes os tipos mais importantes de juntas dessa classe:

— Juntas simples.
— Juntas com anéis de equalização.
— Juntas articuladas (hinge-joints).
— Juntas duplas.

As juntas simples [Fig. 6.3 (*a*)] são usadas apenas para serviços não severos ou para certas tubulações onde se possa garantir que a junta fique sempre perfeitamente guiada e suportada. Essas juntas consistem simplesmente no fole de chapa fina que é diretamente soldado aos extremos, geralmente flangeados, para ligação às tubulações. As juntas de boa qualidade costumam ter um dispositivo limitador de curso para evitar a distensão exagerada do fole, consistindo quase sempre em tirantes de aço com porcas ajustáveis como se pode ver nos exemplos *b)* e *d)* da Fig. 6.3. Observe-se que não havendo os tirantes o fole ficará sujeito a uma distensão excessiva, ou mesmo à ruptura, por efeito da pressão interna que tende a aumentar indefinidamente o comprimento do fole; esses tirantes estão portanto submetidos a um esforço de tração proporcional à pressão do fluido. As juntas simples permitem movimento axial, angular, e também pequeno movimento lateral.

As juntas com anéis de equalização [Fig. 6.3 (*b*)] empregam-se para serviços severos com pressões altas ou quando se exijam maiores condições de segurança. Os anéis de equalização são anéis geralmente de aço fundido, bipartidos, colocados externamente entre cada gomo, com as duas metades presas entre si por meio de parafusos. Esses anéis têm por principal finalidade aumentar a resistência do fole à pressão interna, que tende a expandi-lo diametralmente; servem também para evitar a distensão ou o dobramento excessivo de cada gomo, distribuindo igualmente o movimento por todos os gomos. Pela simples observação da figura vê-se que, quando a junta se fecha, cada gomo só poderá ser dobrado até que o anel se encoste nos anéis vizinhos. O dobramento do côncavo de cada gomo será também limitado pelo diâmetro da parte interna do anel, que fica entre cada dois gomos. A necessidade dos anéis de equalização decorre do fato de que dificilmente se conseguirá uma junta de expansão com todos os gomos exatamente iguais entre si, isto é, exatamente com a mesma flexibilidade. Não havendo anéis de equalização, o gomo mais fraco absorveria sempre a maior parcela do movimento total, porque começaria a se deformar antes dos

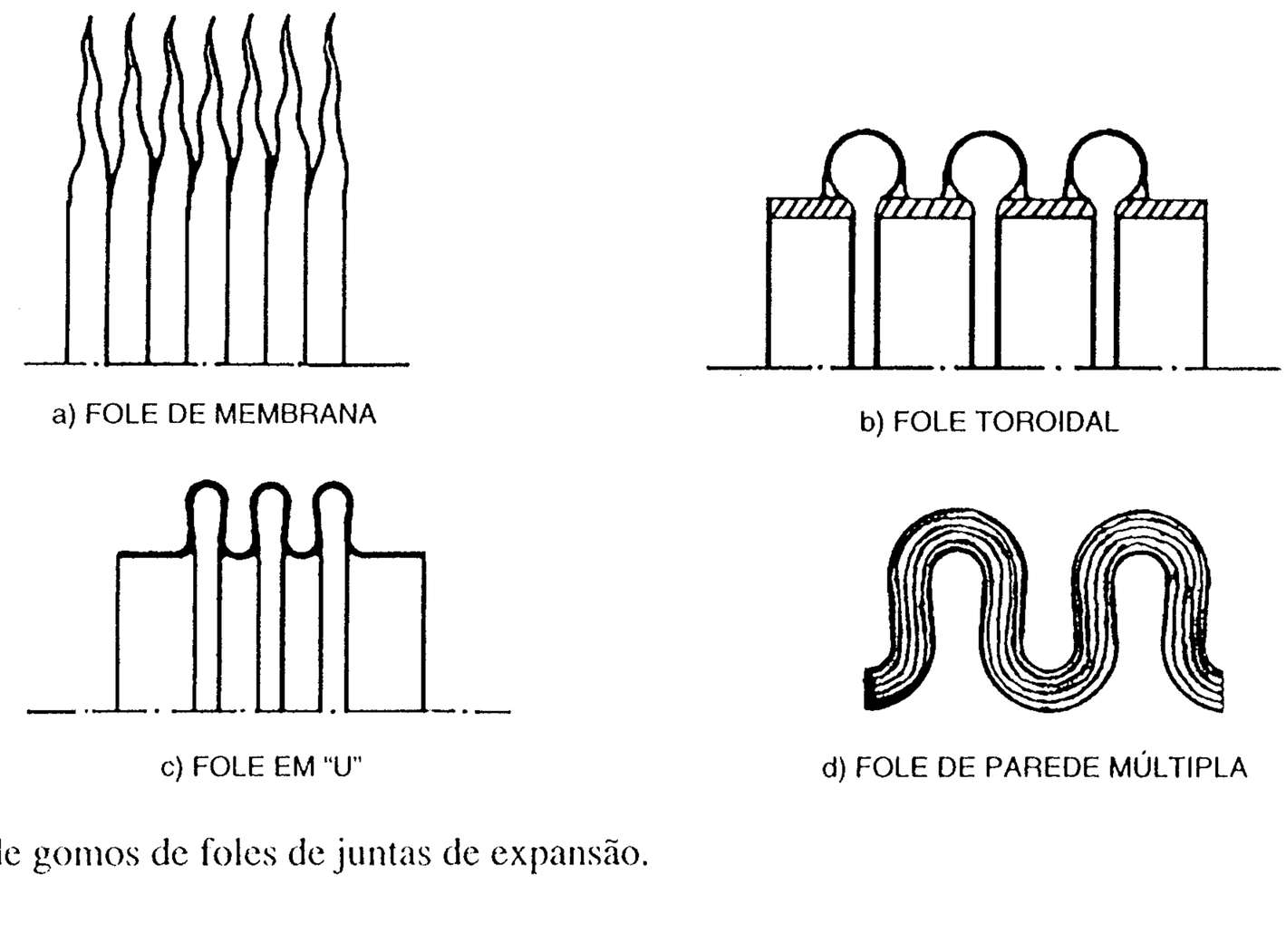


Fig. 6.4 Tipos principais de gomos de foles de juntas de expansão.

outros e com mais freqüência do que os outros. Esse gomo estaria assim sujeito a se romper por fadiga, não só pelo fato de ser mais fraco, como também por se deformar excessivamente.

As juntas com anéis têm sempre tirantes limitadores de curso e, freqüentemente, têm também uma camisa interna para proteger o fole dos efeitos da erosão e da corrosão. Quando a junta de expansão se destina a trabalhar com fluidos que possam deixar depósitos ou sedimentos, devem ser previstas pequenas tomadas para a injeção de vapor, ar comprimido, ou outro fluido sob pressão, entre a camisa interna e o fole, para limpar o fole continuamente ou quando necessário.

Empregam-se as juntas com anéis para absorver movimentos axiais, angulares ou pequenos movimentos laterais.

Quando o movimento da tubulação for apenas angular, usam-se as juntas articuladas [Fig. 6.3 (*c*)] que têm uma articulação externa presa aos extremos onde se liga à tubulação. Essas juntas devem ter um sistema qualquer de limitação do movimento angular, que podem ser batentes na articulação, ou tirantes limitadores com porcas. É evidente que a própria articulação funciona como limitador de extensão e de compressão do fole. Os pinos da articulação devem ter um sistema qualquer de lubrificação permanente para facilitar os movimentos.

Existem também juntas de expansão articuladas capazes de acomodar movimentos angulares em vários planos, funcionando como uma junta universal (junta "Cardan").

Para a absorção de movimentos axiais e laterais combinados, ou para grandes movimentos laterais, usam-se as juntas duplas [Fig. 6.3 (*d*)] que nada mais são do que duas juntas conjugadas com um pequeno trecho de tubo intermediário. É importante que o tubo intermediário seja devidamente suportado, extremamente ou pelos tirantes, para que o seu peso não fique atuando sobre nenhum dos dois foles, principalmente quando o conjunto estiver instalado em posição não-vertical.

Os foles de todos os tipos de juntas são sempre fabricados de materiais resistentes à corrosão: aços inoxidáveis, cobre, metal Monel, ligas de níquel etc., de acordo com a pressão e temperatura de serviço e a natureza do fluido conduzido. Fabricam-se juntas até 4,5 m de diâmetro nominal, para temperaturas até 870°C, e para pressões desde o vácuo absoluto de até 4 MPA ($\cong$ 40 kg/cm^2).

O curso axial pode chegar até 200 mm e o movimento angular permissível, nos diâmetros pequenos, pode ir até 50°. As extremidades das juntas de fole são geralmente flangeadas, ou mais raramente para solda de topo.

As juntas de expansão de fole são usadas principalmente para tubulações de temperaturas elevadas e grande diâmetro (geralmente acima de 20″), nos casos em que não é possível dar à tubulação um desenvolvimento que garanta uma flexibilidade suficiente para absorver as dilatações (veja Item 10.2.4).

6.6 Juntas de Expansão de Tecido

Assim como as juntas de expansão de fole, são constituídas de um elemento flexível capaz de absorver os movimentos impostos pela tubulação com um mínimo de esforço. Nessas juntas, o elemento flexível é uma peça tubular feita de um tecido não-metálico, resinas, mantas de fibras sintéticas etc, que é aparafusada às extremidades das tubulações (Fig. 6.5).

O emprego dessas juntas é restrito aos casos de baixíssimas (até 0,2 kg/cm^2) pressões e temperaturas moderadas (até 200°C); existem porém modelos especiais em que o elemento flexível está protegido por isolamento térmico apropriado, podendo, nesses casos, trabalhar em temperaturas de até 700°C.

A grande vantagem dessas juntas é o baixo custo, podendo chegar a 10% do custo de uma junta convencional com fole metálico. São capazes de absorver grandes movimentos em quaisquer direções.

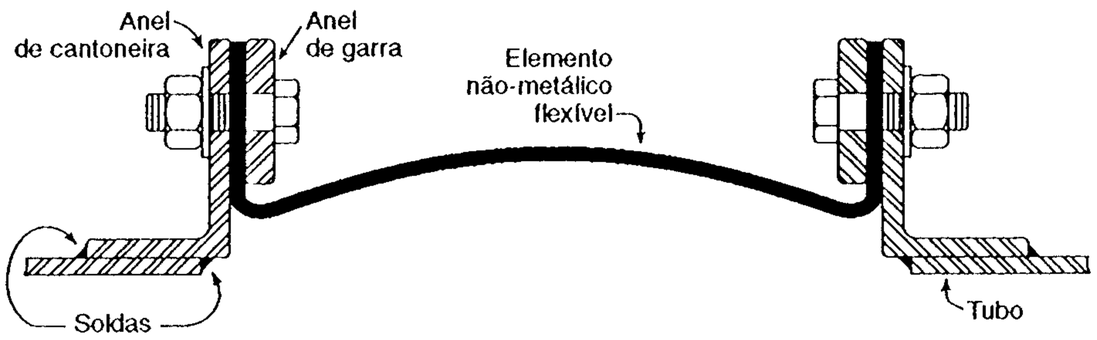


Fig. 6.5 Junta de expansão de tecido.

7

PURGADORES DE VAPOR, SEPARADORES DIVERSOS E FILTROS

7.1 DEFINIÇÃO E FINALIDADES DOS PURGADORES DE VAPOR

Os purgadores de vapor (steam-traps) são dispositivos automáticos que separam e eliminam o condensado formado nas tubulações de vapor e nos aparelhos de aquecimento, sem deixar escapar o vapor. Por essa razão, esses aparelhos deveriam ser chamados, com mais propriedade, de "purgadores de condensado". A maioria dos purgadores, além de removerem o condensado, eliminam também o ar e outros gases incondensáveis (CO_2, por exemplo) que possam estar presentes.'

Os purgadores de vapor são os dispositivos de separação mais importantes e de emprego mais comum em tubulações industriais.

São as seguintes as causas do aparecimento de condensado em tubulações de vapor:

— Em tubulações de vapor úmido o condensado se forma por precipitação da própria umidade.
— Em tubulações de vapor saturado o condensado aparece em conseqüência das perdas de calor por irradiação ao longo da linha.
— Em tubulações de vapor saturado ou superaquecido o condensado pode aparecer em conseqüência do arrastamento de água, proveniente da caldeira.
— Em quaisquer tubulações de vapor, o condensado sempre se forma no período de entrada em operação, quando todo o sistema está frio (warm-up) e, também, quando o sistema é tirado de operação e o vapor vai se condensando aos poucos no interior da tubulação.

O condensado forma-se também em todos os aparelhos onde o vapor é usado como meio de aquecimento (refervedores, aquecedores a vapor, serpentinas, autoclaves, estufas etc.), como conseqüência da perda de calor do vapor.

A remoção do condensado do ar e de outros gases existentes nas linhas de vapor deve ser feita pelas seguintes razões:

— Conservar a energia do vapor: o condensado não tem ação motora (máquinas a vapor) nem ação aquecedora eficiente (o vapor aquece cedendo o calor latente de condensação). A entrada ou a permanência do condensado nos aparelhos de aquecimento diminui grandemente a eficiência desses aparelhos.
— Evitar vibrações e golpes de aríete nas tubulações, causados pelo condensado, quando empurrado pelo vapor em alta velocidade. Esses golpes ocorrem principalmente nas mudanças de direção, extremos de tubulações, válvulas etc., porque as velocidades usuais para o vapor são muito maiores (20 a 100 vezes) do que as usadas para água e, também, porque o condensado é incompressível.
— Evitar a erosão rápida das palhetas das turbinas, que seria causada pelo impacto das gotas de condensado.
— Diminuir os efeitos da corrosão. O condensado combina-se com o CO_2 que possa existir no vapor formando o ácido carbônico, de alta ação corrosiva.
— Evitar a redução da seção transversal útil de escoamento do vapor devido à acumulação do condensado.

— Evitar o resfriamento do vapor em conseqüência da mistura com o ar e outros gases.

7.2 Casos Típicos de Emprego e Locais de Instalação de Purgadores

Os purgadores de vapor são usados em dois casos típicos de emprego, cada um dos quais para uma finalidade diferente:

1.°) Para eliminação do condensado formado nas tubulações de vapor em geral (drenagem de tubulações de vapor).

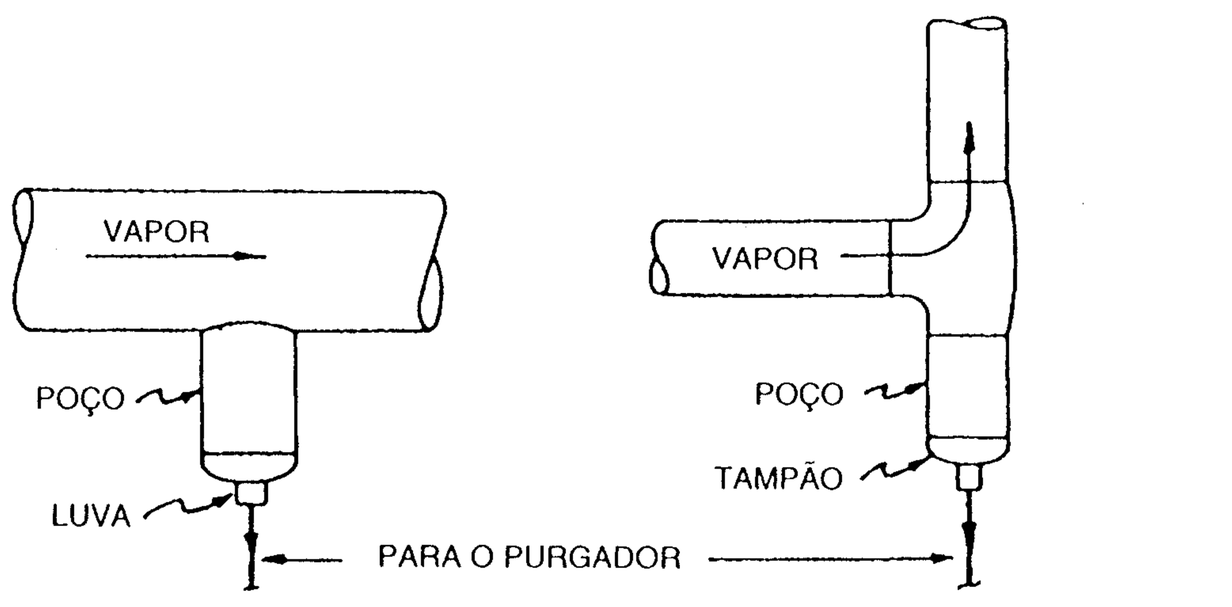
2.°) Para reter o vapor nos aparelhos de aquecimento a vapor (aquecedores a vapor, refervedores, serpentinas de aquecimento, autoclaves, estufas etc.), deixando sair apenas o condensado.

É importante a distinção entre esses dois casos, porque o sistema de instalação do purgador, em um caso ou em outro, é completamente diferente.

Quando instalados com a finalidade de drenar linhas de vapor, os purgadores são colocados em uma derivação da tubulação, como mostra a Fig. 7.1. Essa derivação deve sair de uma bacia de acumulação denominada "poço de condensado" (drip-pocket) instalada na parte inferior da tubulação de vapor. O condensado deve sempre ser capaz de correr por gravidade para dentro do poço. A tubulação de entrada do purgador deve estar ligada diretamente ao fundo do poço.

Devem ser colocados obrigatoriamente purgadores para drenagem de condensado nos seguintes pontos de todas as tubulações de vapor, como mostra a Fig. 7.2:

— Todos os pontos baixos e todos os pontos de aumento de elevação (colocados, nesses casos, na elevação mais baixa). Denomina-se ponto baixo qualquer trecho de tubulação, qualquer que seja o seu comprimento, em cota de nível inferior aos trechos adjacentes (veja Fig. 10.25).
— Nos trechos de tubulação em nível, deve ser colocado um purgador em cada 100 m a 250 m; quan-



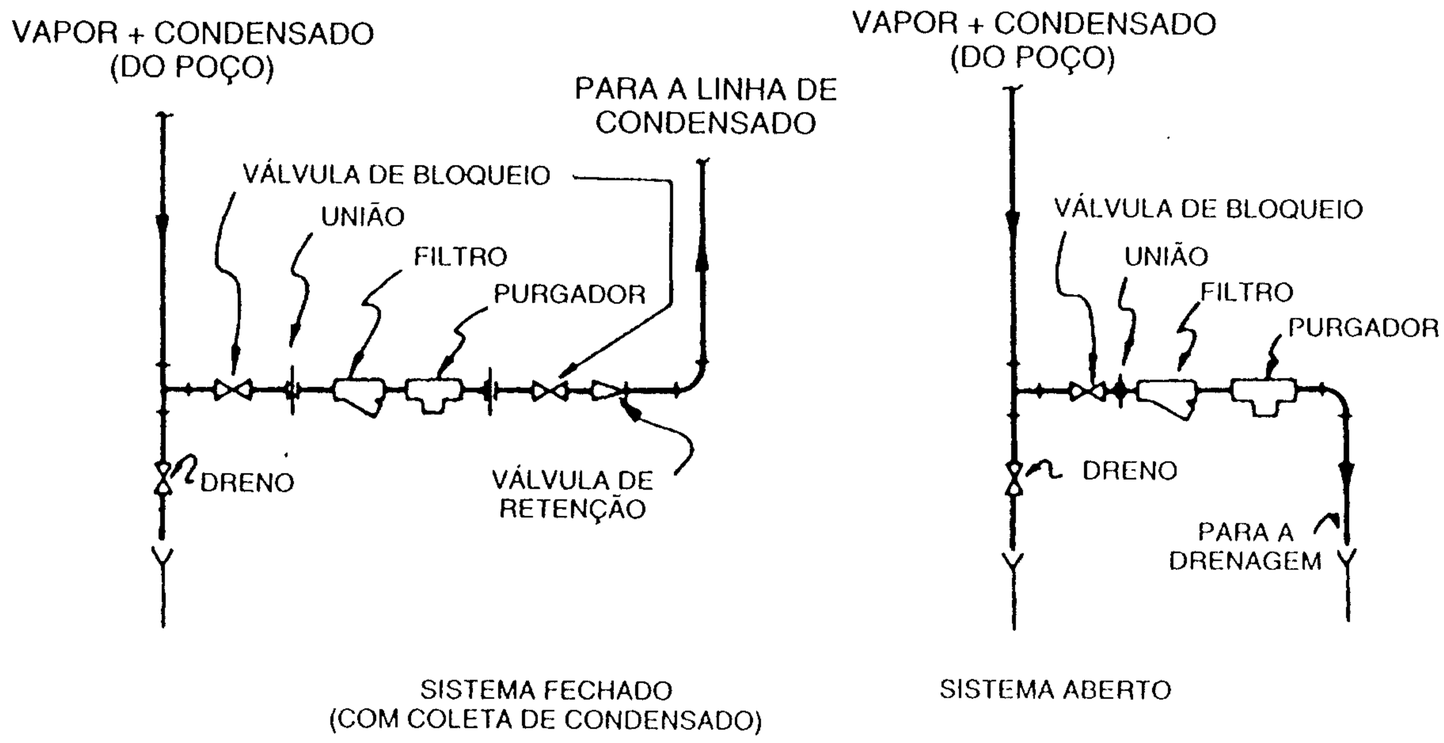


Fig. 7.1 Purgador para drenagem de linhas de vapor.

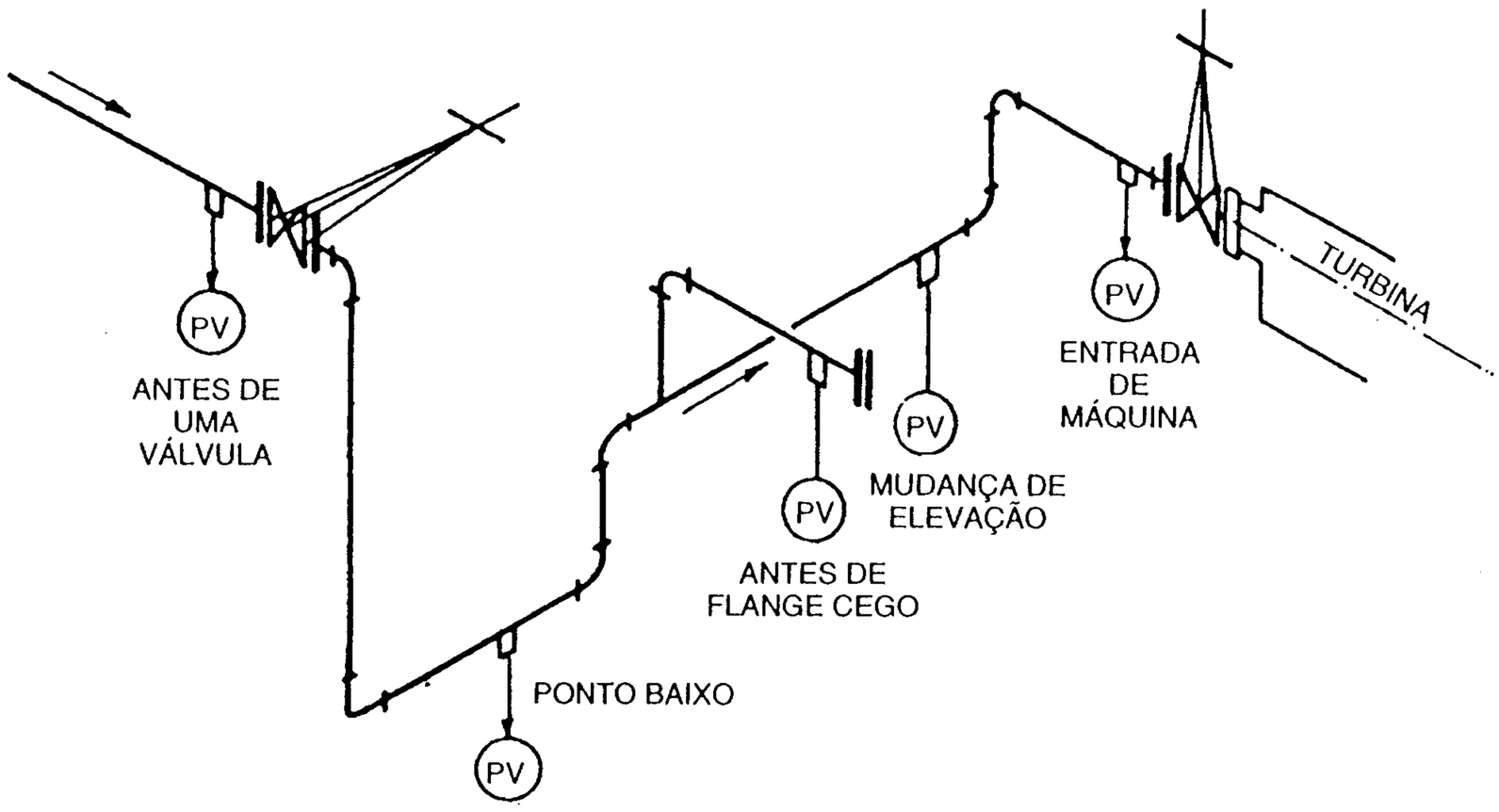


Fig. 7.2

to mais baixa for a pressão do vapor mais numerosos deverão ser os purgadores.

— Todos os pontos extremos (no sentido do fluxo) fechados com tampões, flanges cegos, bujões etc.

— Imediatamente antes de todas as válvulas de bloqueio, válvulas de retenção, válvulas de controle e válvulas redutoras de pressão. Os purgadores destinam-se nesse caso a eliminar o condensado que se forma quando a válvula estiver fechada.

— Próximo à entrada de qualquer máquina a vapor, para evitar a penetração de condensado na máquina.

Quando o purgador tem por finalidade reter o vapor em um aparelho de aquecimento, ele deve ser instalado não em uma derivação — como no caso anterior —, mas na própria tubulação de vapor, e colocado o mais próximo possível da saída do aparelho (Fig. 7.3). A função desse purgador é aumentar, ao máximo, o tempo de permanência do vapor dentro do aparelho, para que o vapor possa ceder todo o seu calor. Se não houvesse o purgador, o vapor circularia continuamente à alta velocidade, e para que a troca de calor fosse eficiente, o comprimento da trajetória do vapor dentro do aparelho (isto é, o comprimento do feixe tubular ou da serpentina) teria de ser enorme. Não havendo o purgador teríamos assim um consumo exagerado com desperdício de vapor e, conseqüentemente, um baixo rendimento global do sistema de aquecimento. A instalação do purgador representa sempre considerável economia de vapor e, portanto, de combustível e de custo. Por todas essas razões é obrigatória a colocação de um purgador de vapor na saída de qualquer aparelho onde o vapor seja empregado como meio de aquecimento.

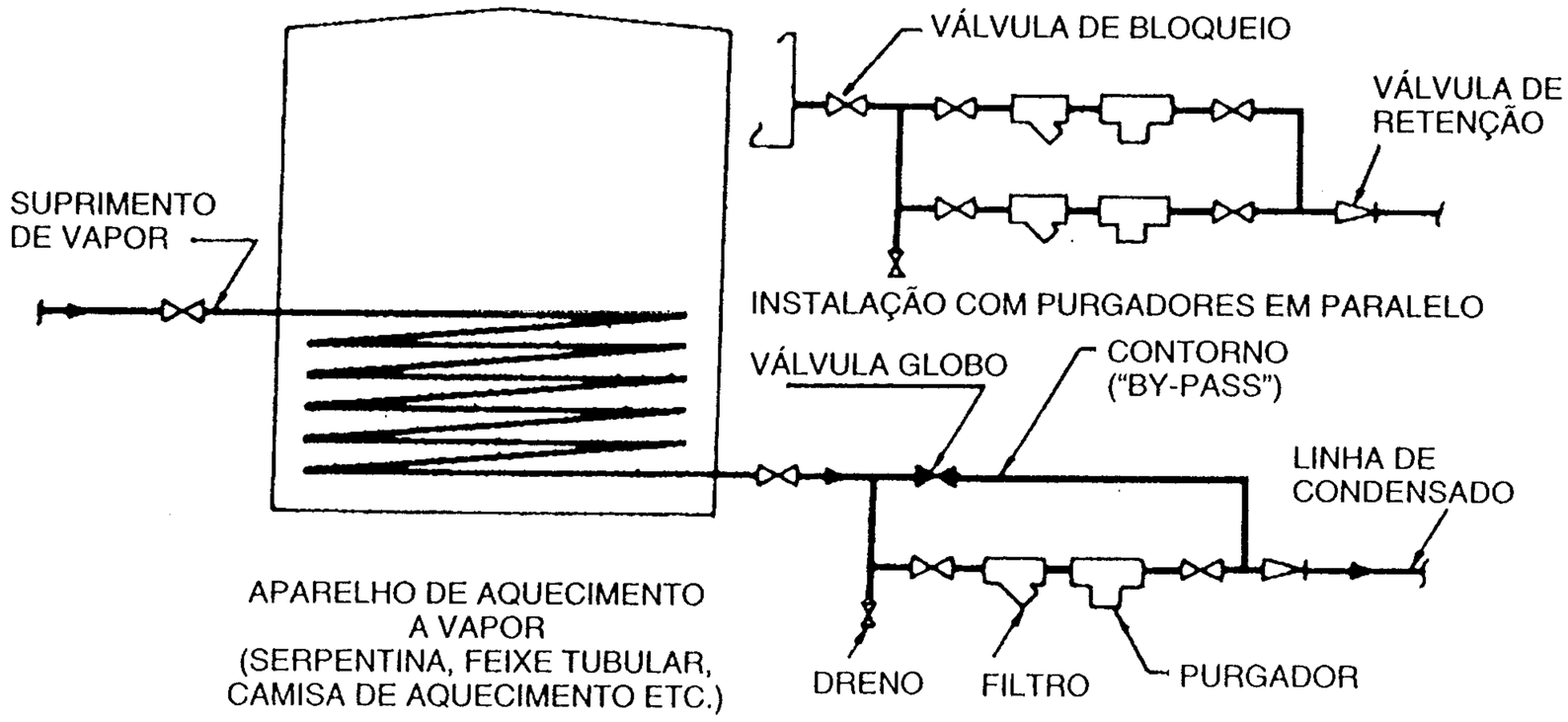


Fig. 7.3 Purgador na saída de um aparelho de aquecimento.

7.3 Detalhes de Instalação dos Purgadores de Vapor

Damos a seguir algumas recomendações sobre detalhes de instalação dos purgadores:

1. Os purgadores devem de preferência ser colocados abaixo da geratriz inferior do tubo a drenar. Isto é, o condensado deve sempre que possível correr por gravidade do tubo ou do aparelho a drenar para o purgador, como mostram as Figs. 7.1 e 7.3. Quando não for possível fazer o condensado escoar por gravidade até o purgador, deverá ser colocada uma válvula de retenção para evitar o refluxo do condensado que será, nesse caso, empurrado pela pressão do vapor. Continuará, entretanto, havendo necessidade de um poço onde o condensado seja coletado por gravidade; a Fig. 7.4 mostra um exemplo de instalação de um purgador nessas condições.

2. É muito recomendável a colocação de um filtro imediatamente antes de cada purgador. Esses filtros são obrigatórios antes dos purgadores de bóia e termostáticos. Alguns purgadores já possuem um filtro no próprio corpo, dispensando assim a instalação de um filtro externo.

3. A descarga dos purgadores pode ser feita de dois modos:

a) Descarga livre, isto é, o condensado é lançado fora do purgador e recolhido no sistema de drenagem do local (Fig. 7.1).

b) Descarga para uma rede de tubulações que faz retornar o condensado a um reservatório, e deste à caldeira (Figs. 7.1, 7.3 e 7.4). Esse sistema é empregado quando for justificável economicamente a recuperação do condensado, tendo em vista a quantidade de condensado eliminado, a distância do purgador à caldeira, e o custo da água de alimentação. As tubulações de retorno devem ter a menor perda de carga possível para não criarem contrapressão nos purgadores que, como veremos adiante, reduz muito a capacidade desses aparelhos.

4. Quando o purgador tiver descarga livre, basta colocar uma válvula de bloqueio antes do purgador, e uma válvula de dreno para descarregar o condensado quando o purgador estiver fora de operação (Fig. 7.1).

Note-se que na descarga de um purgador para a atmosfera há sempre escapamento visível de vapor, dando a impressão que o purgador está defeituoso, porque deixa escapar vapor. Esse vapor que se vê é, entretanto, em sua maior parte, o que se chama "vapor de descompressão" ou "de reevaporação" (flash steam), proveniente da vaporização do condensado, depois da saída do purgador, por efeito da descompressão para a atmosfera.

5. Quando o purgador descarregar para uma linha de retorno, a instalação deve ser feita como mostra a Fig. 7.3, com duas válvulas de bloqueio, antes e depois, e válvula de dreno. É préferível que a linha de retorno do condensado esteja situada abaixo do purgador. Caso essa disposição não seja possível, a linha de retorno deverá ter uma válvula de retenção para impedir o refluxo do condensado (Fig. 7.4), e a diferença de cotas até o purgador deverá ser a menor possível. Em tubulações de funcionamento contínuo, em que haja retorno do condensado, deve ser prevista uma tubulação de contorno (by-pass) com válvula de regulagem manual (válvula globo), para uso quando o purgador estiver fora de operação, ou colocados dois purgadores em paralelo, como mostra a Fig. 7.3.

6. As tubulações de entrada e de saída do purgador devem ter o menor comprimento possível, e devem ser, no mínimo, de diâmetro igual ao dos bocais do purgador. Quando existirem vários purgadores descarregando em uma única linha de retorno de condensado, essa linha deverá ser dimensionada para a descarga simultânea de todos os purgadores.

7. Os purgadores devem ser sempre instalados em locais de fácil acesso para a inspeção e manutenção. Quando houver descarga de condensado para a atmosfera, o purgador deve ser colocado de forma que o jato quente de condensado não atinja pessoas ou equipamentos. Deve ser previsto sempre um meio fácil de desmontagem e remoção do purgador e do filtro, o que geralmente se consegue por meio de uniões, como mostram as Figs. 7.1 e 7.4.

8. Para tubulações de diâmetro nominal até 3", inclusive, o poço de acumulação de condensado deve ser do mesmo diâmetro da tubulação. Para diâmetros nominais de 4", ou maiores, o poço pode ser de diâmetro menor.

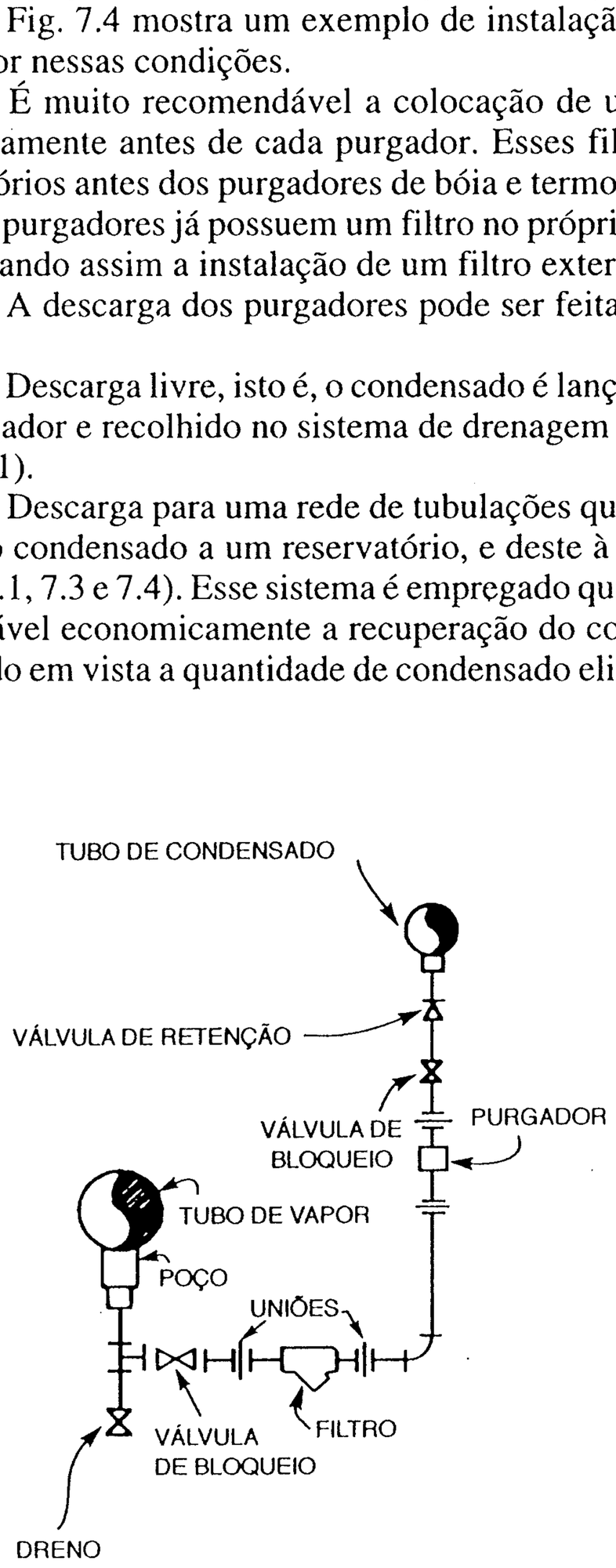


Fig. 7.4 Instalação do purgador mais alto do que a linha de vapor.

7.4 Principais Tipos de Purgadores de Vapor

Os purgadores de vapor podem ser classificados em três categorias gerais:

— Purgadores mecânicos — Agem por diferença de densidades
  - Purgadores de bóia.
  - Purgadores de panela invertida.
  - Purgadores de panela aberta.

— Purgadores termostáticos — Agem por diferença de temperaturas
  - Purgadores de expansão metálica.
  - Purgadores de expansão líquida.
  - Purgadores de expansão balanceada (de fole).

— Purgadores especiais
  - Purgadores termodinâmicos.
  - Purgadores de impulso.

Damos a seguir a descrição, características e casos de emprego de alguns tipos mais usuais de purgadores:

1. *Purgador de bóia* — Esse purgador consiste em uma caixa com uma entrada de vapor e uma saída de condensado (Fig. 7.5). A saída do condensado é fechada por uma válvula comandada por uma bóia; quando há condensado, a bóia flutua abrindo a saída do condensado, que é expulso pela própria pressão do vapor. É necessário que a força de flutuação da bóia seja suficiente, através de alavancas, para vencer a pressão do vapor que tende sempre a fechar a válvula.

O purgador de bóia não permite a saída de ar e de outros gases; é, porém, praticamente insensível às flutuações de pressão e de vazão do vapor. Alguns purgadores de bóia possuem uma válvula termostática na parte superior, pela qual o ar e os gases podem ser eliminados. Dependendo da quantidade de condensado a descarga poderá ser contínua ou intermitente. Devido à possibilidade de terem descarga contínua, os purgadores de bóia são muito empregados para reter o vapor na saída de aparelhos de aquecimento. Esses purgadores são fabricados com bocais rosqueados até 3" de diâmetro, com capacidade de eliminação de condensado de até 50.000 kg/hora e para pressões de vapor de até 3,5 MPa ($\cong$ 35 kg/cm^2). Os purgadores de bóia não podem trabalhar com pressões muito elevadas, que tenderiam a achatar a bóia. Dependendo da pressão, a caixa pode ser de ferro fundido ou aço fundido; as peças internas são quase sempre de aço inoxidável.

2. *Purgador de panela invertida* (inverted bucket) — É um tipo de purgador muito usado para a drenagem de tubulações de vapor. Consiste em uma caixa com entrada de vapor e saída de condensado, dentro da qual existe uma panela com o fundo para cima, comandando a válvula que fecha a saída do condensado (Fig. 7.6).

Para o início de operação o purgador deve estar previamente cheio de água; a panela fica então pousada no fundo, abrindo a válvula, por onde sai o excesso de água, impelida pelo vapor.

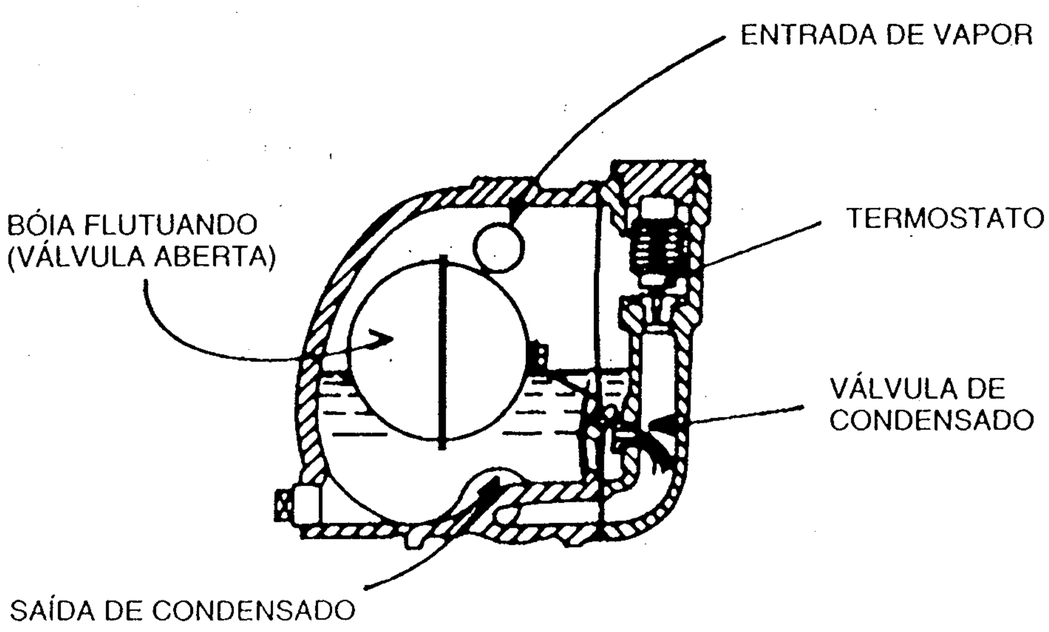


Fig. 7.5 Purgador de bóia.

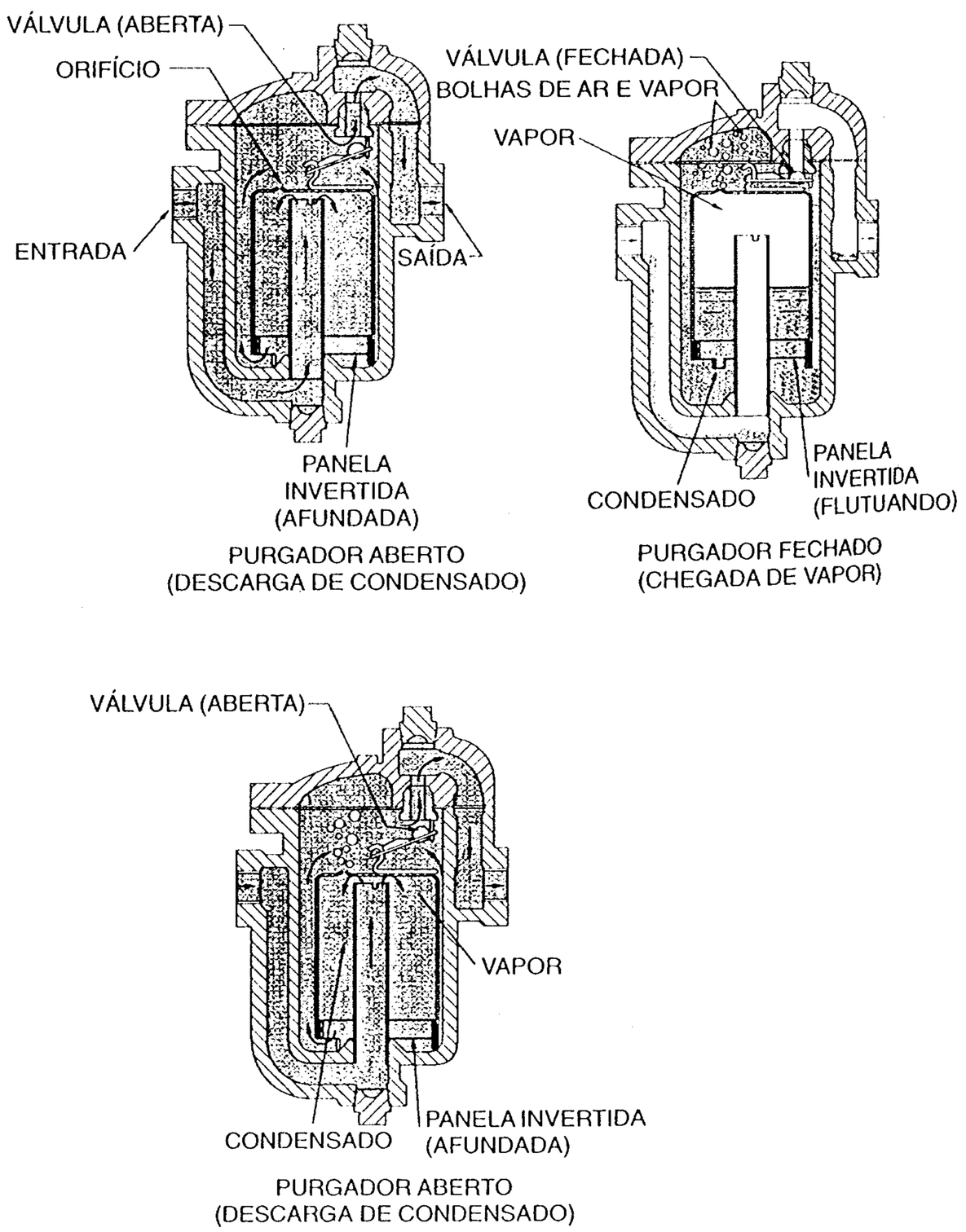


Fig. 7.6 Purgador de panela invertida. *(Cortesia de Armstrong Machine Works.)*

O vapor, quando chega, é lançado dentro da panela, de onde vai sendo expulsa a água (que escapa pela saída), até que a quantidade de água dentro da panela, ficando pequena, faz com que a panela flutue, fechando a válvula de saída. O ar contido sai por um pequeno furo existente no fundo da panela, por onde escapa também um pouco de vapor; o ar acumula-se no topo do purgador e o vapor condensa-se por saturação do ambiente. Chegando mais condensado, ou condensando-se o vapor, a panela enche-se de água, perde flutuação e afunda, abrindo a válvula. A pressão do vapor faz então sair o ar acumulado e o condensado, até que, diminuindo a quantidade de condensado dentro da panela, a flutuação é restabelecida fechando-se a válvula e repetindo-se assim o ciclo.

Note-se que esse purgador precisa estar cheio de água, isto é, escorvado, para o início do funcionamento: se estiver seco, o vapor escapará continuamente até que o condensado arrastado consiga encher o purgador e dar início aos ciclos. Observe-se também que durante todo o ciclo o purgador tem sempre uma certa quantidade de condensado no seu interior, que constitui justamente o selo para impedir o escapamento do vapor.

Empregam-se esses purgadores na drenagem de condensado, para quaisquer valores da pressão e da temperatura, quando o volume de ar a eliminar é moderado e quando não é necessário que a saída do condensado seja contínua ou instantânea. Os purgadores de panela invertida são fabricados para capacidades de eliminação, de 250 a 15.000 kg/hora, com bocais rosqueados de 1/2" a 2". O corpo do purgador costuma ser de ferro fundido para pressões até 3,5 MPa(≈35 kg/cm^2), e de aço fundido ou forjado para pressões maiores. O mecanismo interno completo é sempre de aço inoxidável.

3. *Purgador de expansão metálica* — A parte atuante desse purgador consiste em um conjunto de lâminas bimetálicas, que se curvam com o aquecimento, devido à diferença de coeficientes de dilatação dos dois metais. Quando no purgador só existe condensado (ou ar), que são mais frios do que o vapor, as lâminas permanecem planas, e a válvula do purgador fica completamente aberta, empurrada para baixo pela própria pressão do condensado que escapa para fora. Com o aumento de temperatura do condensado as lâminas se curvam iniciando o fechamento da válvula, que se completa com a chegada do vapor quente, como mostram os detalhes da Fig. 7.7.

O modelo da Fig. 7.7, de fabricação "Gestra", tem um dispositivo auxiliar de labirinto na válvula, que provoca a formação de vapor de descompressão, quando o condensado escapa pela válvula semi-aberta. Esse vapor gera uma pressão que tende a empurrar a válvula para baixo, opondo-se à ação das lâminas bimetálicas. O balanceamento entre os dois efeitos é de tal forma que a abertura da válvula praticamente acompanha a curva de pressão/temperatura do vapor saturado, para uma larga faixa de variação de

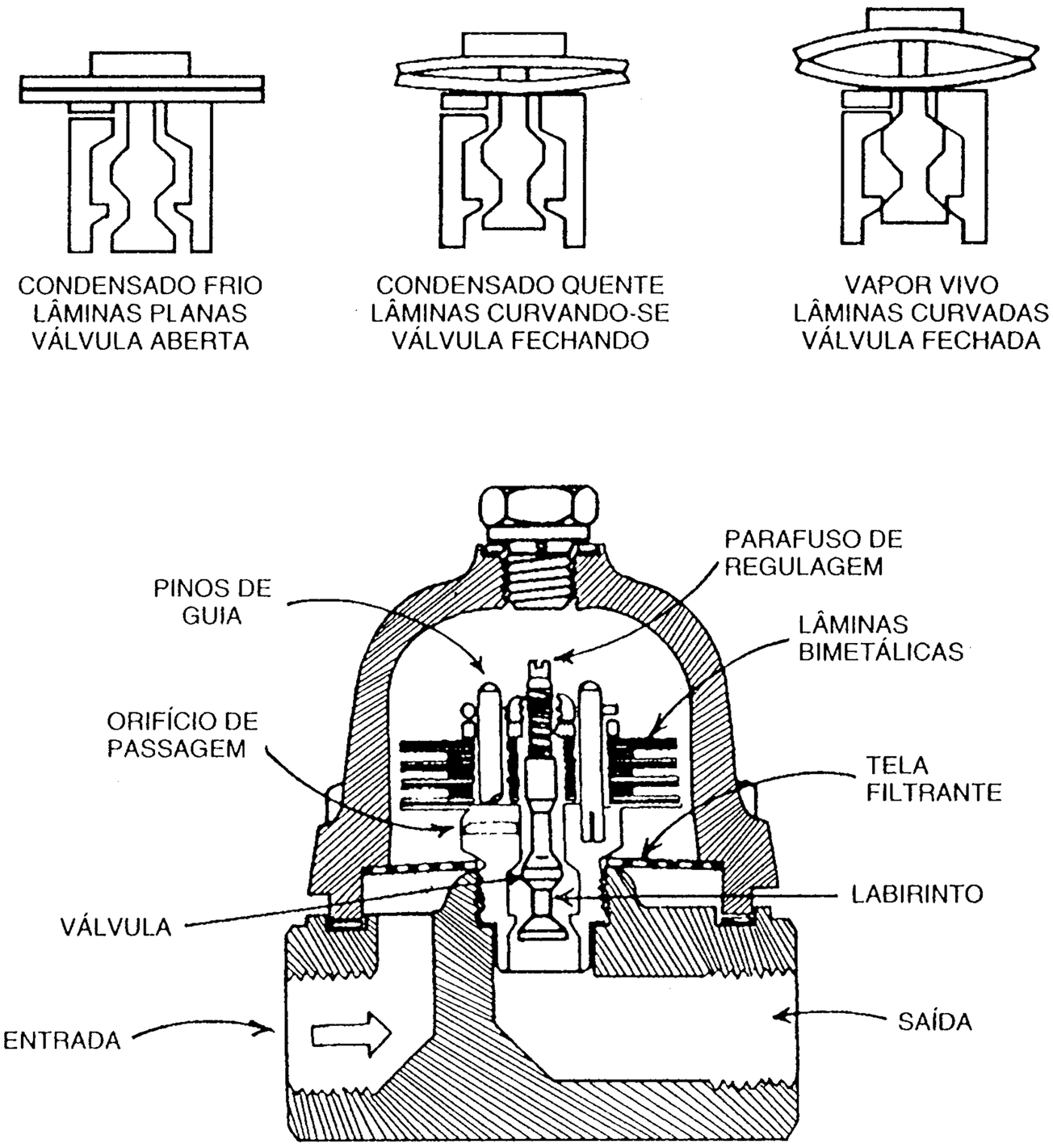


Fig. 7.7 Purgador de expansão metálica. *(Cortesia de Gestra Latino-Americana.)*

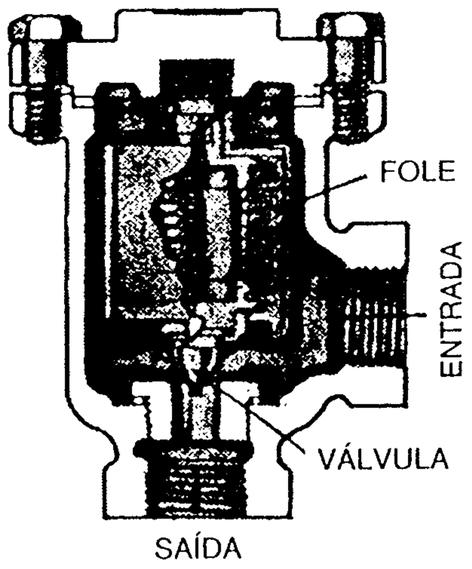


Fig. 7.8 Purgador termostático de fole.

pressão, sendo assim mínima a perda de vapor, mesmo em condições variáveis de pressão ou de temperatura.

4. *Purgador termostático de fole* — Esse purgador consiste em uma caixa contendo no interior um pequeno fole que comanda a válvula de saída do condensado. O fole contém um líquido de ponto de ebulição inferior ao da água (Fig. 7.8). O purgador funciona pela diferença de temperatura que existe sempre, para a mesma pressão, entre o vapor e o condensado. O vapor, por ser mais quente, vaporiza o líquido dentro do fole, que se dilata e fecha a válvula, impedindo a saída do vapor. O condensado e o ar, como são mais frios, contraem o fole que abre a válvula deixando-os escapar. Esse tipo de purgador é empregado para médias e baixas pressões (até 3,5 MPa($\simeq$35 kg/cm^2) principalmente quando se tem grande volume de ar a eliminar. A descarga do condensado é intermitente, demorada, e a perda de vapor é relativamente grande. Não pode ser empregado para vapor superaquecido.

5. *Purgador termodinâmico* — É um aparelho de construção extremamente simples, cuja única peça móvel é um disco que trabalha dentro de uma pequena câmara abrindo ou fechando simultaneamente as passagens que dão para a entrada do vapor e para a saída do condensado (Fig. 7.9).

O funcionamento é o seguinte: o condensado ou o ar chegando ao purgador, empurrados pela pressão do vapor, levantam o disco e escapam para fora. Chegando o vapor, a princípio ele escapa também; mas logo em seguida, o jato de vapor em alta velocidade passando por baixo do disco, cria uma zona de baixa pressão (teorema de Bernoulli) e o disco abaixa-se tendendo a fechar a saída do vapor. Assim que o disco começa a se abaixar, o vapor passa para a câmara acima do disco, e a pressão do vapor força então o disco para baixo. Ao mesmo tempo, esse movimento do disco causa uma redução na seção de saída do vapor; em conseqüência, a velocidade aumenta e a depressão causada aumenta também, até que o disco encosta-se na sede, fechando a saída do vapor.

Como a área útil da face superior do disco é muito maior do que a área útil da face inferior, a pressão do vapor retido acima do disco mantém o purgador fechado, com o disco apertado contra a sede, enquanto houver vapor quente no purgador. Com a chegada do condensado (mais frio do que o vapor), o vapor retido acima do disco começa a se condensar, perde pressão e o disco levanta-se, repetindo-se todo o ciclo novamente. Note-se que a velocidade de escoamento do vapor é sempre muito maior do que a velocidade do condensado, devido ao grande volume específico do vapor.

Se quando o purgador se abrir, em conseqüência da condensação do vapor retido acima do disco, não houver condensado para sair, escapará um pouco de vapor em alta velocidade que preenchendo o espaço acima do disco, fechará de novo rapidamente o purgador.

Esse purgador, pequeno, simples e de baixa manutenção, é empregado para linhas de vapor e para linhas de aquecimento, desde que a quantidade de condensado não seja muito grande. Não deve ser usado quando a contrapressão do condensado for maior do que 50% da pressão do vapor, ou quando a pressão do vapor for inferior a 70 KPa ($\simeq$ 0,7 kg/cm^2). Pode, entretanto, ser empregado para altas pressões e altas temperaturas. O purgador fecha-se instantaneamente, podendo provocar um forte golpe na tubulação. Esses aparelhos são fabricados com bocais rosqueados, de diâmetros nominais de 3/8" a 1", para capacidades de eliminação de condensado até 3.000 kg/hora. Por serem peças pequenas e sujeitas a severas condições de corrosão e erosão, esses purgadores são construídos integralmente de aço inoxidável.

7.5 Seleção e Dimensionamento dos Purgadores de Vapor

A seleção do purgador de vapor adequado para um determinado serviço é feita em duas etapas: primeiro a seleção do tipo geral e em seguida a determinação do modelo do purgador, que é principalmente relacionado com a sua capacidade de eliminação de condensado.

São os seguintes os fatores que influem na seleção de um purgador:

— Natureza da instalação e finalidade do purgador.
— Pressão e temperatura do vapor na entrada do purgador; flutuações da pressão e da temperatura.
— Descarga do condensado para a atmosfera ou para uma linha de retorno; pressão e temperatura do condensado (no caso de linha de retorno) e respectivas flutuações.
— Quantidade de condensado a ser eliminada, por hora ou por dia; flutuações na quantidade de condensado.
— Necessidade ou não de descarga contínua e de descarga rápida.
— Perda admitida de vapor vivo.

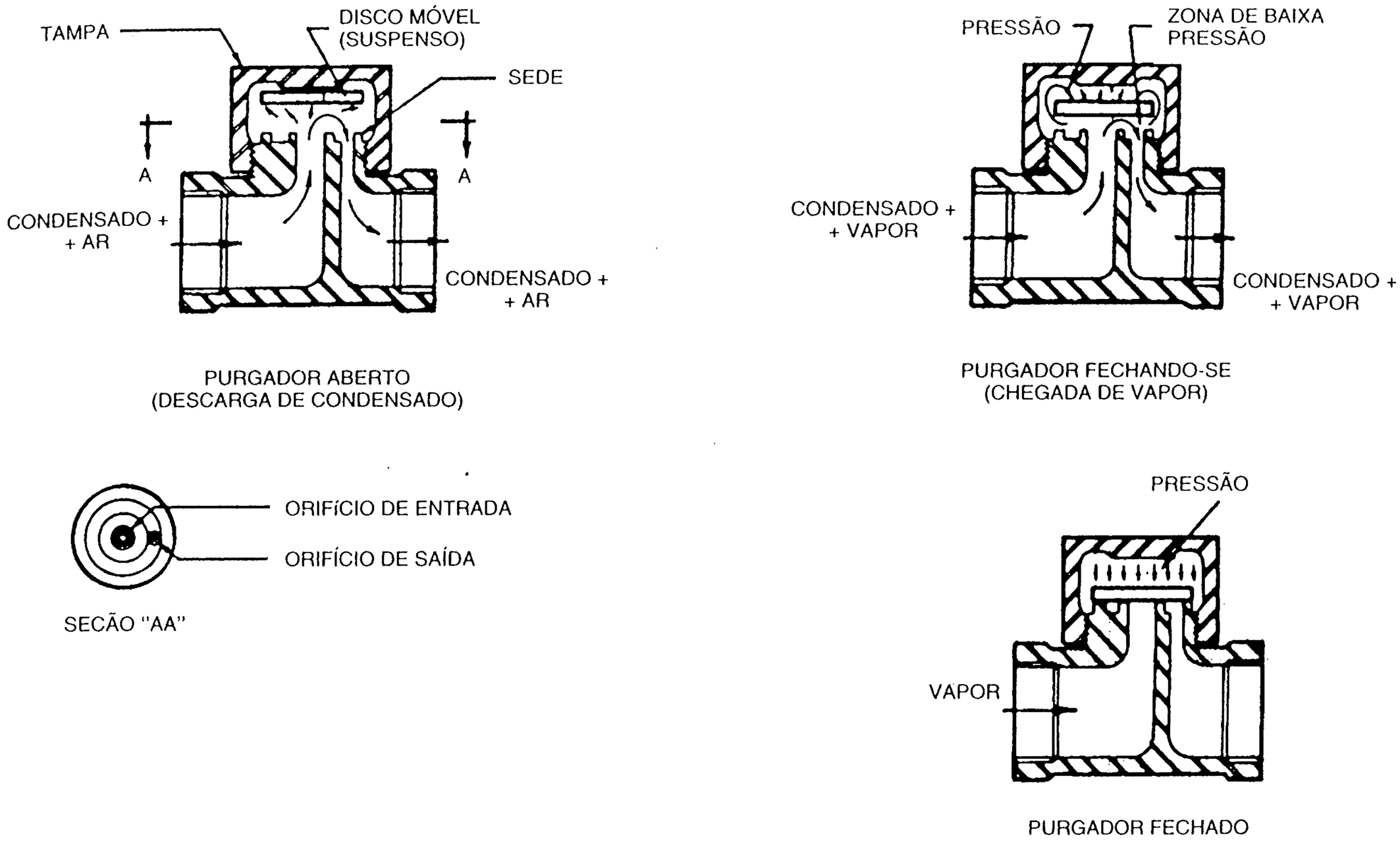


Fig. 7.9 Purgador termodinâmico. *(Cortesia de Sarco Company Inc.)*

— Quantidade de ar e de outros gases presentes no vapor.
— Ocorrência de golpes de aríete ou de vibrações na tubulação.
— Ação corrosiva ou erosiva do vapor ou do condensado.
— Facilidades disponíveis de manutenção.
— Custo inicial.

Damos a seguir, nas Tabelas 7.1 e 7.2, um quadro-resumo comparativo das principais características dos tipos mais importantes de purgadores de vapor e recomendações sobre seleção de purgadores para alguns casos típicos de emprego.

Para a determinação da pressão do vapor na entrada do purgador devem ser levadas em conta as perdas de carga que se derem até o purgador. Da mesma forma, quando

Tabela 7.1
CARACTERÍSTICAS DOS PURGADORES

TIPO	*Pressão máxima do vapor (kg/cm^2)*	*Capacidade máxima (kg/h)*	*Permite descarga contínua?*	*Eliminação do ar*	*Resistência a golpes de aríete*	*Perda de vapor*	*Necessidade de manutenção*
Bóia	35	50.000	sim	pode ser	não	pouca	regular
Panela invertida	180	15.000	não	sim	sim	pouca	bastante
Panela aberta	100	6.000	não	sim	sim	pouca	bastante
Expansão metálica	50	4.000	pode ser	sim	sim	bastante	regular
Expansão líquida	35	4.000	pode ser	sim	não	bastante	regular
Expansão balanceada	35	1.000	pode ser	sim	não	bastante	regular
Termodinâmico	100	3.000	não	sim	sim	regular	quase nenhuma
Impulso	100	5.000	não	não	sim	regular	quase nenhuma

Tabela 7.2
CASOS TÍPICOS DE EMPREGO DE PURGADORES

Serviço	*Condições*		*Tipos recomendados*	*Coeficiente de segurança(*)*
Drenagem de tubulações de vapor (com retorno de condensado)	Vapor saturado	Alta pressão: mais de 2 MPa (≅ 20 kg/cm²)	B	2
		Média pressão: até 2 MPa	B — C	2
		Baixa pressão: até 0,2 MPa (≅ 2 kg/cm²)	C — B	3
	Vapor superaquecido	Alta pressão: mais de 2 MPa	B — C	2
		Média pressão: até 2 MPa	C — B	2
		Baixa pressão: até 0,2 MPa	C — B	3
Drenagem de tubulações de vapor (sem retorno de condensado)	Vapor superaquecido ou saturado	Pressões até 0,1 MPa (≅ 1 kg/cm²)	C	2
		Pressões acima de 0,1 MPa	D	3
Aquecimento de tubulações	—	—	D	3
Aparelhos de aquecimento a vapor	Altas vazões (mais de 4.000 kg/h)	Vazão constante	A — B	2
		Vazão variável	A — B	4
	Médias e baixas vazões (até 4.000 kg/h)	Vazão constante	A — C	2
		Vazão variável	C — A	4
Serpentinas de tanques	—	—	B — A	3

A: purgador de bóia
B: purgador de panela invertida
C: purgador termostático ou de expansão metálica
D: purgador termodinâmico

(*) Coeficiente de segurança para a quantidade de condensado calculada.

a descarga do condensado se faz para uma linha de retorno, as perdas de carga nessa linha têm de ser consideradas para se obter a pressão do condensado na saída do purgador. Se as condições de pressão do vapor, do condensado, ou de ambos, forem variáveis, o purgador deverá ser selecionado para a mínima pressão do vapor e para a máxima pressão do condensado, isto é, para a menor pressão diferencial entre a entrada e a saída do aparelho.

Para qualquer purgador a capacidade de eliminação de condensado é sempre função da pressão diferencial através do purgador e da temperatura do condensado. Quanto menor for a pressão diferencial menor será a capacidade de eliminação e vice-versa. A capacidade diminui também com o aumento de temperatura do condensado, devido à maior formação de vapor de descompressão na saída do purgador. Por essa razão, todos esses aparelhos devem ser dimensionados em função da menor pressão diferencial e da maior temperatura do condensado, possíveis de ocorrer.

A quantidade de condensado a ser eliminada é o dado mais difícil de se estabelecer, porque depende de um grande número de fatores muito variáveis. No item a seguir veremos um procedimento que pode ser empregado para a avaliação da quantidade de condensado.

Fixado o tipo de purgador e calculadas a pressão diferencial mínima e a quantidade de condensado, a escolha do modelo adequado resume-se a uma consulta aos catálogos dos fabricantes. Esses catálogos costumam apresentar gráficos com curvas — ou tabelas —, para a seleção dos diversos modelos de purgadores, em função da pressão diferencial e da quantidade máxima de condensado a eliminar. A Fig. 7.10 mostra um gráfico com uma família dessas curvas, tirado de um catálogo de um fabricante.

7.6 Cálculo da Quantidade de Condensado a Eliminar

Para a avaliação da quantidade de condensado a eliminar temos que distinguir os dois casos gerais de emprego dos purgadores de vapor, vistos no Item 7.2:

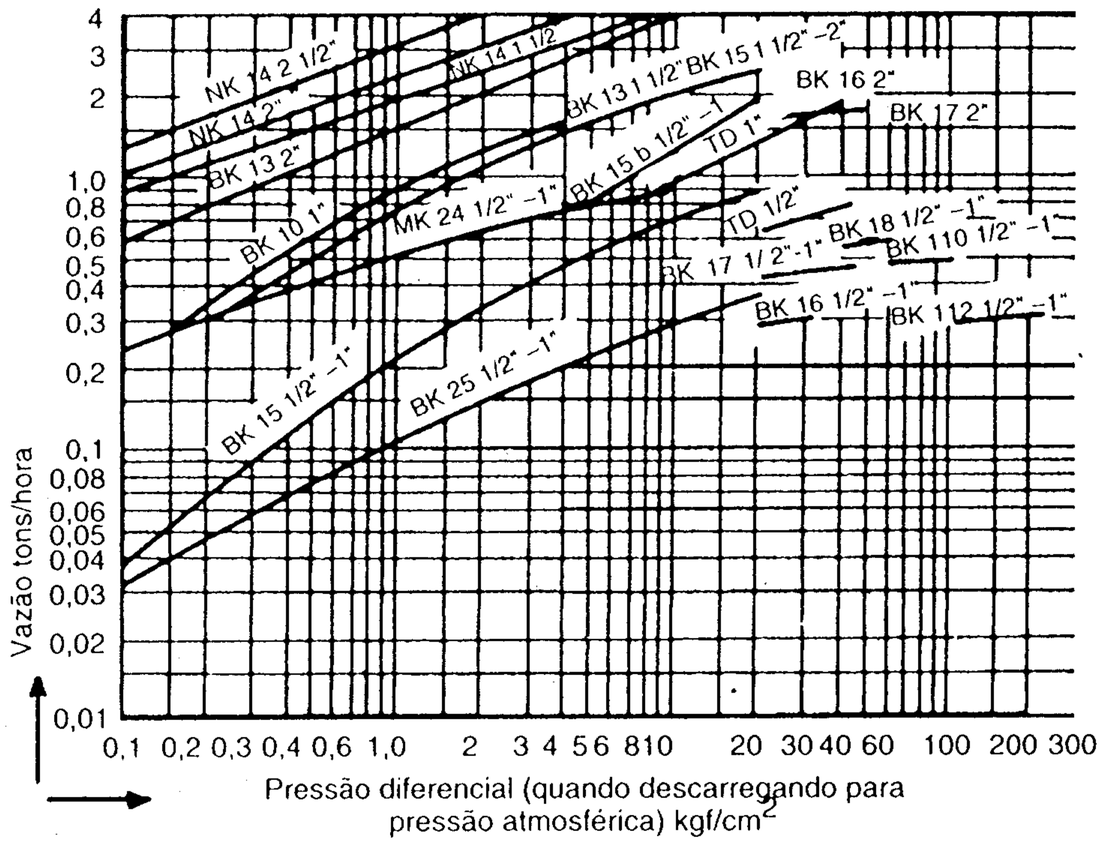


Fig. 7.10 Curvas de seleção de purgadores. *(Cortesia de Gestra Latino-Americana.)*

— Purgadores para a drenagem de linhas de vapor.
— Purgadores para reter vapor na saída de aparelhos de aquecimento.

Para os purgadores que se destinam à drenagem de linhas de vapor, a quantidade de condensado pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$Q = n\,(Q_a + 0{,}5\ Q_s) \qquad (1)$$

em que:

Q = quantidade total de condensado (a capacidade de eliminação do purgador deverá ser igual ou maior do que Q).
n = coeficiente de segurança (veja Tab. 7.2).
Q_a = quantidade de condensado formado em conseqüência da perda de calor sofrida pelo vapor para aquecer a tubulação, no início do funcionamento do sistema.
Q_s = quantidade de condensado formado em conseqüência das perdas de calor por irradiação, com a tubulação em operação normal.

Os valores de Q_a e Q_s dependem de um grande número de fatores, alguns dos quais difíceis de se exprimir quantitativamente. Existem muitas tabelas e gráficos dando os valores de Q_a e Q_s para diversos tipos de instalação, diâmetros de tubos e classes de isolamento térmico. Na falta de outros elementos, essas grandezas podem ser calculadas aproximadamente pelas fórmulas abaixo (Q_a e Q_s dados em lb/hora):

$$Q_a = \frac{6{,}84\ LwA\Delta t}{Q_i N} \qquad Q_s = \frac{LaA\Delta tU}{Q_i} \qquad (2)$$

Nas quais:

L = comprimento da tubulação (pés).
w = peso unitário do tubo vazio (lb/pé).
Δt = diferença de temperaturas entre o vapor e o ambiente (°F).
Q_i = calor latente do vapor na temperatura final (Btu).
N = número de minutos de duração do aquecimento da tubulação (toma-se geralmente $N = 5$).
a = área lateral unitária do tubo (pé²/pé).
U = perda unitária de calor através do isolamento térmico. Para o isolamento usual de hidrossilicato de cálcio com 2" de espessura, tem-se $U = 0{,}286$ Btu/pé²/°F/hora.

As fórmulas (2) valem apenas para o caso de tubulações de aço situadas em local exposto ao tempo embora relativamente abrigado.

O valor do coeficiente de segurança n varia de 2 a 5, adotando-se geralmente os valores recomendados pelos fabricantes de purgadores de vapor para cada caso específico. Para tubulações usuais de vapor costuma-se tomar um valor de 2 a 3 para esse coeficiente. Os dois primeiros purgadores na linha de saída de uma caldeira devem ser superdimensionados (coeficiente de segurança = 4), para serem capazes de eliminar a água arrastada pelo vapor. Devem-se também adotar valores altos para o coeficiente de segurança quando a quantidade de ar ou de outros gases for muito grande ou quando não for possível calcular com razoável precisão a quantidade de condensado a eliminar. Convém observar que não se devem ter purgadores muito superdimensionados, porque a maioria desses aparelhos trabalharia mal nessas condições.

A quantidade de condensado formada para o aquecimento inicial da tubulação (Q_a) é sempre bem superior à quantidade de condensado conseqüente das perdas por irradiação (Q_s), sendo essa diferença tanto maior quanto melhor for o isolamento térmico da tubulação. Por essa razão, a fórmula (1), embora seja de uso corrente, conduz a purgadores bastante superdimensionados em relação à quantidade de condensado formada em serviço normal.

Algumas vezes, dependendo do tipo da instalação e a critério do projetista, os purgadores poderão ser dimensionados apenas para o valor de Q_s. Nesse caso é necessário que os drenos da tubulação sejam sempre completamente abertos durante os períodos de aquecimento do sistema, porque os purgadores não serão capazes de eliminar a grande quantidade de condensado que se forma nessa ocasião. Esse procedimento não é muito comum porque coloca o funcionamento da instalação na dependência de uma operação manual que é freqüentemente de difícil execução e controle.

Para os purgadores que têm por finalidade reter o vapor na saída de um aparelho de aquecimento, a avaliação da quantidade de condensado que o purgador deve eliminar é muito simples, porque essa quantidade é, evidentemente, exatamente igual à quantidade de vapor consumi-

da pelo aparelho de aquecimento. É, portanto, um dado em geral fácil de ser obtido do fabricante ou do usuário do aparelho.

7.7 Outros Dispositivos Separadores

Além dos purgadores de vapor, vários outros dispositivos separadores são também usuais em tubulações industriais. As operações mais comumente efetuadas por esses aparelhos são as seguintes:

— Separação de água e/ou óleo em tubulações de ar comprimido e de outros gases.
— Separação de poeiras e sólidos em suspensão em tubulações de ar e de gases diversos.
— Separação de ar e/ou água em tubulações de gasolina e de outros líquidos leves.
— Separação de ar em tubulações de vapor.

São os seguintes os princípios gerais de funcionamento da maioria desses aparelhos:

— Flutuação.
— Inércia.
— Capilaridade.
— Absorção.

Alguns separadores aproveitam-se simultaneamente de mais de um dos mencionados fenômenos.

Os aparelhos que trabalham por flutuação são inteiramente semelhantes aos purgadores de bóia, já vistos, sendo empregados na separação e eliminação de água e de outros líquidos nas tubulações de ar e de gases em geral. Esses separadores que são sempre peças pequenas (fabricadas até 2" de diâmetro nominal) são muito usados para a drenagem da água que se forma em tubulações de ar comprimido, sendo às vezes denominados de "purgadores de água" (Fig. 7.11).

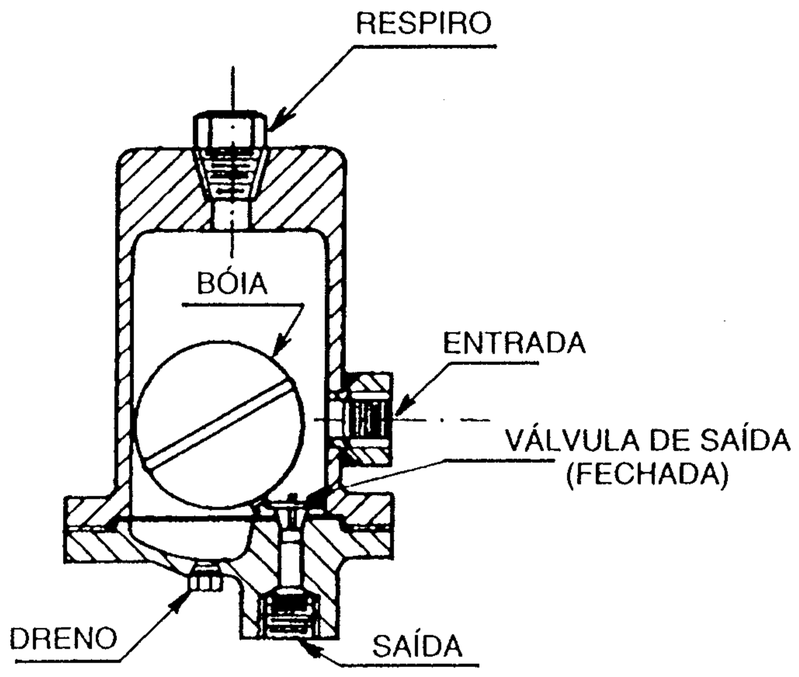


Fig. 7.11 Purgador de água. *(Cortesia de Armstrong Machine Works.)*

O princípio da inércia é utilizado nos aparelhos destinados a separar líquidos e sólidos em suspensão (inclusive poeiras) em tubulações de gases. Nesses separadores a corrente de gás, carregada de partículas líquidas ou sólidas, é obrigada a mudar de direção várias vezes a grande velocidade. Nessas mudanças de direção as partículas líquidas ou sólidas separam-se por serem mais pesadas (devido à inércia) sendo então recolhidas e eliminadas. Em alguns desses separadores a corrente é lançada tangencialmente em uma caixa cilíndrica, ficando animada de um movimento espiralado de alta velocidade. Os ciclones usados para separação de poeiras em correntes gasosas funcionam dessa maneira.

Em outros separadores de inércia as mudanças de direção são conseguidas por meio de chicanas, convenientemente colocadas, que também servem para guiar o líquido coletado; são desse tipo os dois exemplos mostrados na Fig. 7.12. Um tipo muito comum de separadores de chicanas, são os separadores de condensado (denominados, às vezes, de "separadores de vapor") usados em linhas de vapor úmido, ou em linhas em que a quantidade de condensado seja muito grande. Esses aparelhos geralmente funcionam conjugados com um purgador de vapor, que é instalado no dreno do separador, para a eliminação automática do condensado coletado. A Fig. 7.12 mostra uma instalação desse gênero.

Fabricam-se separadores de chicanas e de ciclone com bocais até 12" de diâmetro nominal, muito usados na eliminação de água, de óleo e de poeiras em linhas de ar comprimido, de vapor e de outros gases.

Os separadores que agem por capilaridade servem principalmente para a coleta e eliminação de ar e de água em tubulações de líquidos leves. Nesses aparelhos a corrente líquida atravessa elementos de tela fina ou de palhas especiais onde se formam, por diferença de capilaridade, bolhas de ar ou gotículas de água que são depois coletadas e eliminadas.

Os separadores de absorção são aparelhos no interior dos quais existem elementos de substâncias especiais capazes de absorver e reter o material que se deseja separar. A veia fluida atravessa esses elementos, onde a absorção se dá por meio de reações químicas ou por retenção mecânica. Os elementos absorventes têm uma vida relativamente curta, no fim da qual devem ser substituídos. Os desumidificadores de sílica-gel ou de alumina, empregados para remover umidade em correntes de ar ou de outros gases, funcionam segundo esse princípio.

Quase todos os separadores, de qualquer tipo que sejam, costumam ter um pequeno depósito para coleta do material separado, um visor de nível para observação e controle, e uma torneira de dreno funcionando manual ou automaticamente. A instalação dos separadores que coletam material mais pesado do que o fluido conduzido deve ser feita nos pontos baixos das tubulações, de modo semelhante aos purgadores. Esse é o caso, por exemplo, dos separadores de água em tubulações de ar (purgadores de água), que são instalados em derivações saindo dos poços

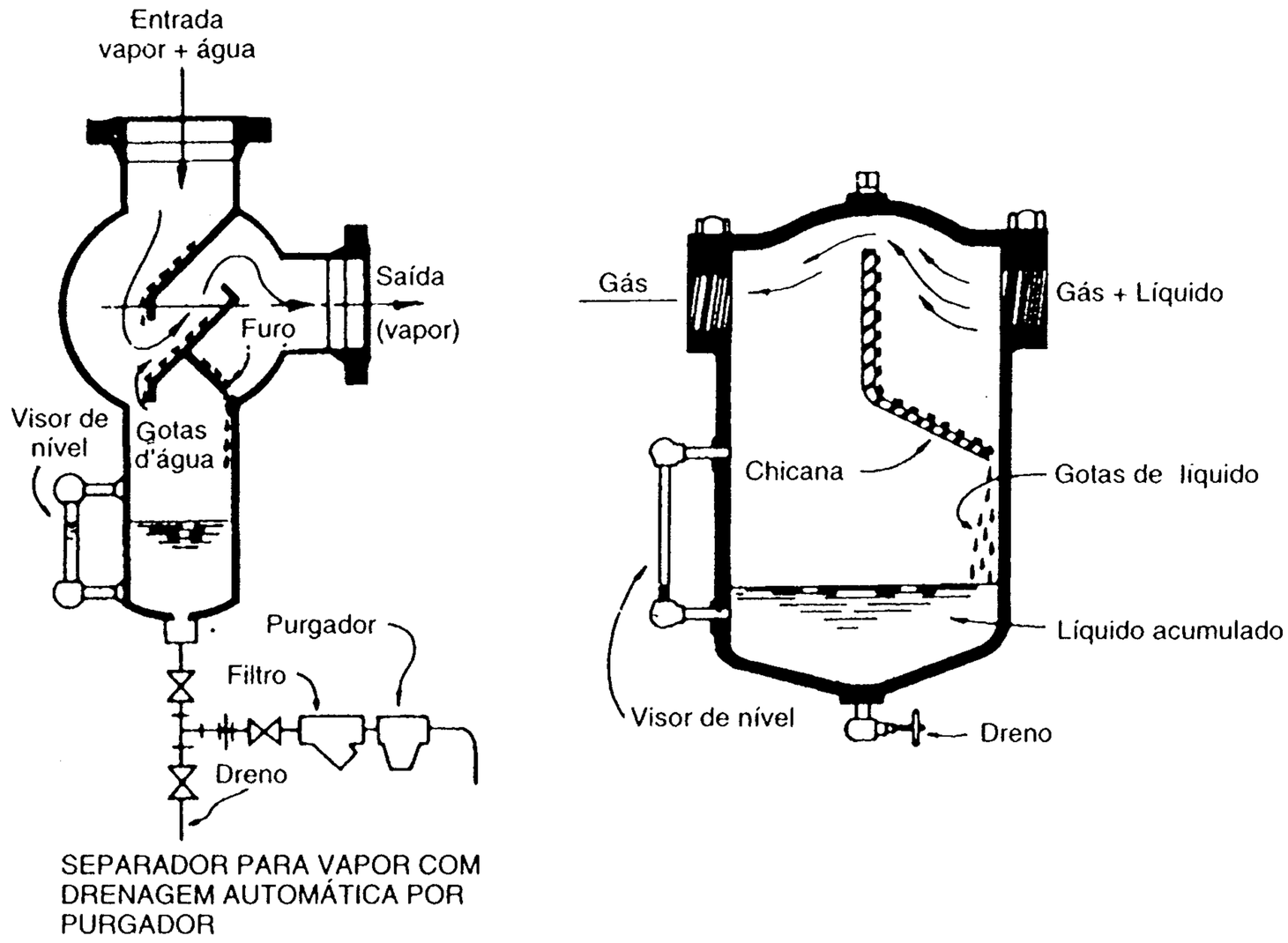


Fig. 7.12 Separadores de inércia.

de acumulação, colocados na parte inferior da tubulação nos pontos baixos da linha, tal como os purgadores de vapor para a drenagem de condensado (Figs. 7.1 e 7.2). Os separadores que eliminam ar e gases mais leves do que o fluido conduzido devem ser instalados nos pontos altos das tubulações. Em qualquer caso, o material a ser coletado deve sempre tender a correr por gravidade para o separador.

Em linhas de vapor de grande diâmetro, o ar e outros gases incondensáveis podem-se acumular em bastante quantidade nos pontos altos da linha, principalmente no início da operação, tornando difícil a sua remoção através dos purgadores. Será necessário nesses casos a instalação de aparelhos especiais para a eliminação desses gases, colocados nos pontos altos da tubulação e dos equipamentos ligados à tubulação. Esses separadores são freqüentemente purgadores termostáticos, instalados em pequenas derivações nos pontos altos, conjugados com os respiros da tubulação (veja Item 10.9.1).

Os aparelhos separadores muito grandes, complexos, ou cuja função faça parte de um processo, não são considerados como acessórios de tubulação, sendo classificados como equipamentos de processo.

7.8 Filtros para Tubulações

Os filtros (strainers, filters) são também aparelhos separadores destinados a reter poeiras, sólidos em suspensão e corpos estranhos, em correntes de líquidos ou de gases. São de uso comum em tubulações industriais duas classes de filtros: provisórios e permanentes.

Os filtros provisórios são peças que se intercalam nas tubulações, próximo aos bocais de entrada de alguns equipamentos (bombas, compressores, turbinas etc.), para evitar que sujeiras e corpos estranhos deixados nas tubulações durante a montagem penetrem nesses equipamentos quando o sistema for posto em operação. Depois que as tubulações já estiverem em funcionamento normal por algum tempo e, portanto, tiverem sido completamente lavadas pelo próprio fluido circulante, os filtros provisórios podem ser dispensados e devem ser removidos porque causam uma perda de carga desnecessária. É obrigatória a colocação de filtros provisórios na entrada de todos os equipamentos que possam ser danificados pela presença de corpos estranhos, porque, mesmo que tenha sido feita a limpeza prévia das tubulações após a montagem, é impossível garantir-se que não haja no interior das mesmas poeiras, terra, ferrugem, rebarbas de solda, pontas de elétrodos e outros detritos e materiais estranhos.

Os filtros permanentes, como o próprio nome indica, são acessórios instalados na tubulação de um modo definitivo. São os seguintes os principais casos de emprego desses filtros:

— Tubulações para fluidos sujos que sempre possam apresentar corpos estranhos.
— Casos em que seja necessária uma purificação rigorosa ou controlada do fluido circulante por exigência de processo.
— Tubulações de entrada de equipamentos que podem ser gravemente prejudicados pela entrada de corpos estranhos, tais como bombas e medidores volumétricos, certos tipos de purgadores, queimadores de caldeiras e de fornos etc.

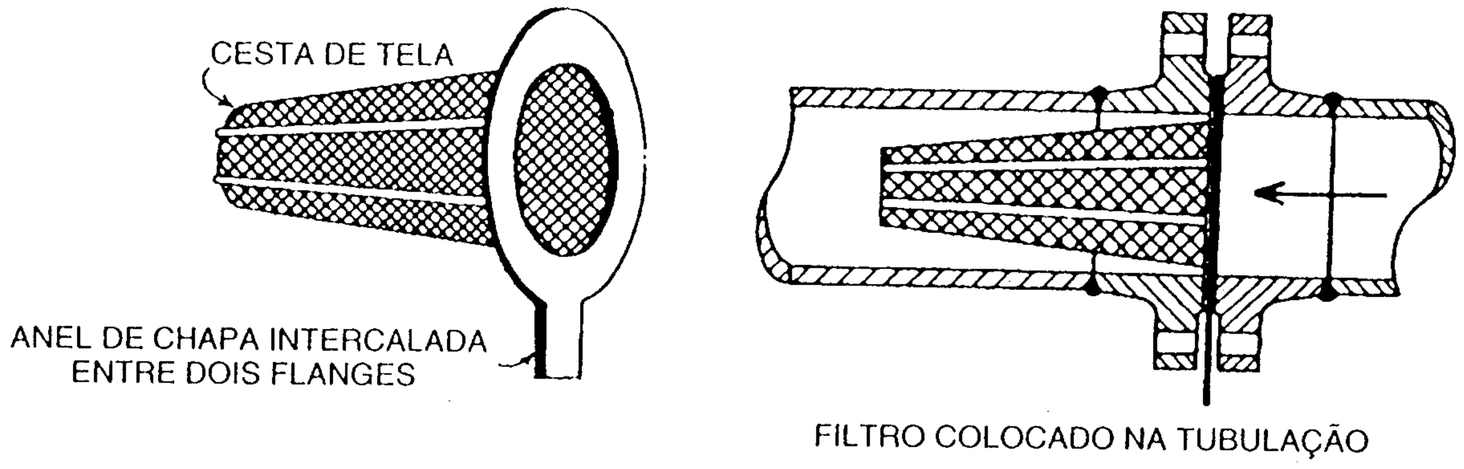


Fig. 7.13 Filtro provisório.

7.9 Filtros Provisórios e Permanentes

Os filtros provisórios mais comuns são cestas de tela com um anel de chapa, fina (Fig. 7.13), introduzidos entre dois flanges quaisquer, onde ficam presos. Os filtros de cesta de tela devem ter uma área de filtragem de no mínimo 3 a 4 vezes a seção transversal útil da tubulação.

Para facilitar a colocação e posterior retirada dos filtros provisórios, deve-se colocar uma peça flangeada qualquer [carretel (isto é, pedaço curto de tubo com flanges nos dois extremos), redução, joelho etc.] na entrada dos equipamentos que devam ser providos de filtros provisórios. O filtro, ficará preso a um dos flanges dessa peça, com a cesta de tela dentro da peça; para remover o filtro bastará desacoplar os flanges e retirar a peça inteira.

Os filtros permanentes consistem, geralmente, em uma caixa de aço, de ferro fundido, ou de bronze, com os bocais para as tubulações de entrada e de saída, no interior da qual existem os elementos de filtragem e chicanas para conduzirem a veia fluida (Fig. 7.14). Os elementos filtrantes e os materiais de construção dos mesmos variam de acordo com o fluido circulante, o grau de filtragem desejado, o tamanho do filtro etc.

Os elementos filtrantes mais comuns são os seguintes:

— Grades metálicas, chapas perfuradas, telas metálicas (filtragem grosseira de líquidos).
— Telas finas, feltro, "nylon", porcelana, papel etc. (filtragem fina de líquidos).
— Palhas metálicas, feltro, camurça etc. (filtragem de gases).

Conforme o modelo do filtro, os elementos filtrantes podem ter a forma de cestas cilíndricas, cones, discos, cartuchos etc.

O diâmetro dos furos nas chapas perfuradas ou a abertura das malhas das telas dependem do tamanho permissível dos detritos que possam passar, em função principalmente da natureza dos equipamentos que se quer proteger. Esse dado deve ser fornecido pelo fabricante ou pelo operador do equipamento para possibilitar a seleção correta do filtro. Quanto mais apertadas forem as aberturas tanto maior será a quantidade de detritos retidos, e assim tanto mais freqüentes deverão ser as limpezas do filtro. Também, quanto menores forem as aberturas tanto menor será a percentagem de área útil de passagem no elemento filtrante e, conseqüentemente, tanto maior terá de ser o tamanho desse elemento e, portanto, do próprio filtro.

Os elementos filtrantes (mesmo nos filtros provisórios) devem ser sempre de materiais resistentes à corrosão; quando metálicos, essas peças devem ser de latão, aços inoxidáveis, metal Monel etc. A área do elemento filtrante, nos filtros permanentes, deve ser sempre bem maior do que a área da seção transversal do tubo. Essa relação, nos filtros pequenos, varia de 2:1 a 4:1, e nos filtros grandes, de $2^1/_2$:1 a 8:1.

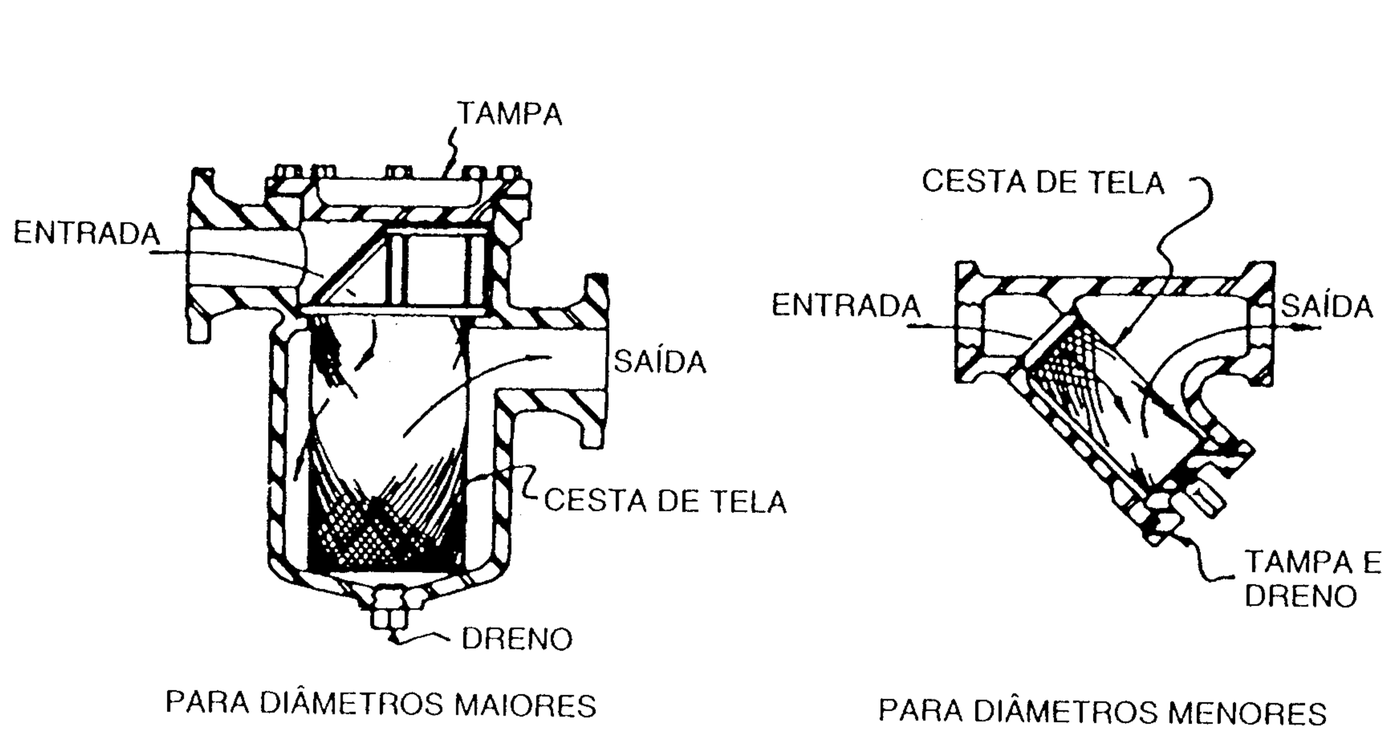


Fig. 7.14 Filtros permanentes.

Todos os filtros, tanto permanentes como provisórios, causam sempre perdas de carga consideráveis na tubulação, perdas essas que aumentam muito à medida que os filtros vão ficando sujos. É muito importante por isso a limpeza periódica de todos os filtros e a remoção dos provisórios, assim que não sejam mais necessários.

Para facilitar a limpeza, todos os filtros permanentes têm um dreno no ponto mais baixo, e tampa removível, permitindo retirar, limpar ou trocar os elementos filtrantes sem ser necessário desconectar o filtro da tubulação. Em linhas de funcionamento contínuo e com necessidade de filtragem constante, colocam-se dois filtros em paralelo em ramais com bloqueio independente — semelhante à instalação de purgadores de vapor mostrada na Fig. 7.3 — ou adotam-se filtros duplos com duas câmaras iguais independentes e com válvulas de bloqueio, de forma que seja possível uma câmara estar trabalhando enquanto a outra estiver sendo limpa ou vice-versa.

Em alguns filtros existe um dispositivo que permite a limpeza sem retirar o aparelho de serviço, mediante a injeção de um líquido sob pressão (back-wash), que desagrega os detritos retidos no elemento filtrante e faz com que saiam pelo dreno do filtro.

Os fabricantes de filtros costumam fornecer os valores das perdas de carga, para diversas vazões e condições de limpeza do elemento filtrante. Quando for necessário controlar com mais cuidado o estado do filtro para fixar a ocasião necessária da limpeza periódica, instala-se um manômetro antes do filtro e outro depois, determinando-se assim a perda de carga através do aparelho.

Os filtros pequenos (até 2") costumam ter a carcaça de ferro fundido ou de bronze e bocais rosqueados; os filtros grandes (fabricados até 36") são de ferro fundido ou de aço fundido, com bocais flangeados.

Da mesma forma que os separadores, os filtros muito grandes, muito complexos, ou que constituam parte essencial do processamento de um fluido, são considerados como equipamentos de processo, e não como acessórios da tubulação.

8

RECOMENDAÇÕES DE MATERIAIS PARA ALGUNS SERVIÇOS — ESPECIFICAÇÕES DE MATERIAL DE TUBULAÇÃO

8.1 PROBLEMA GERAL DA SELEÇÃO DOS MATERIAIS

A seleção e especificação correta dos materiais adequados para cada serviço é freqüentemente um dos problemas mais difíceis com que se vê a braços o projetista de tubulações industriais. Damos a seguir os principais fatores que influenciam a seleção de um material; em alguns casos entretanto poderão haver outros fatores determinantes desta seleção. Observe-se que alguns fatores podem ser conflitantes entre si: por exemplo, o material de melhor resistência à corrosão poderá ser muito caro e de difícil obtenção, e vice-versa. Por esse motivo, a relação abaixo não guarda nenhuma ordem de prioridade ou de importância relativa, que são variáveis de um caso para outro. Cabe ao projetista decidir, em cada caso, quais os fatores predominantes, e quais os que devem prevalecer quando houver conflito(*).

1. *Fluido conduzido* — Devem ser considerados os seguintes aspectos relativos ao fluido (ou aos fluidos) conduzido: Natureza e concentração do fluido, impurezas e contaminantes presentes, existência ou não de gases dissolvidos e de sólidos em suspensão, caráter abrasivo ou erosivo do fluido, temperatura, pH, caráter oxidante ou redutor, flamabilidade, ponto de fulgor, toxidez, explosividade ou outros efeitos deletérios do fluido, ataque corrosivo aos materiais, possibilidade de contaminação do fluido pelos resíduos da corrosão, máximo tolerável dessa contaminação (conseqüências sobre a cor, o gosto, a toxidez, ou sobre outras propriedades do fluido).

2. *Condições de serviço* (pressão e temperatura de operação) — O material tem de ser capaz de resistir à pressão em toda faixa de variação de temperatura possível de ocorrer. É importante observar que todos os fatores relativos ao serviço (fluidos conduzidos, com suas pressões, temperaturas, propriedades etc.), são em geral variáveis ao longo do tempo, isto é, tem-se, freqüentemente, uma série de valores considerados normais, ou de regime, e uma faixa, às vezes ampla, de variação desses valores, inclusive para condições anormais ou eventuais que possam ocorrer. Interessa portanto, para todos os fatores, conhecer os valores de regime e também os extremos; em muitos casos, pode ainda ser necessário conhecer a probabilidade e duração de ocorrência desses extremos. Note-se também que todas as propriedades dos materiais sofrem grandes variações em função da temperatura, sendo principalmente im-

(*) Sobre o assunto geral de seleção e recomendações de materiais para diversos serviços, veja o livro "Materiais para Equipamentos de Processo", já citado.

portantes a acentuada queda na resistência mecânica e a maior incidência de corrosão e oxidação que ocorrem com o aumento de temperatura, o fenômeno da fluência em temperaturas elevadas e a fragilização de muitos materiais metálicos em baixas temperaturas.

As propriedades dos fluidos também podem variar muito em função da temperatura: densidade, viscosidade, pressão de vapor, ataque corrosivo sobre os metais etc.

3. *Nível de tensões no material* — O material deve resistir aos esforços solicitantes, e por isso a sua resistência mecânica deve ser compatível com o nível de tensões que se tenha, isto é, com a ordem de grandeza dos esforços presentes. Para que as espessuras sejam razoáveis, dentro dos limites de fabricação normal, é necessário que sejam empregados materiais de grande resistência quando os esforços forem grandes, e vice-versa. Deve ser observado que em qualquer tubulação existem freqüentemente numerosos esforços além da pressão interna (que às vezes não é o esforço predominante), como está explicado no Cap. 2 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo".

4. *Natureza dos esforços mecânicos* — Independentemente do nível de tensões, a natureza dos esforços existentes (tração, compressão, flexão, esforços estáticos ou dinâmicos, choques, vibrações etc.), também condiciona a seleção do material. Os materiais frágeis, por exemplo, não devem ser utilizados quando ocorrerem esforços dinâmicos, choques ou altas concentrações de tensões.

5. *Disponibilidade dos materiais* — Quase todos os materiais para tubos (com exceção do aço-carbono) têm limitações de disponibilidade, isto é, não se encontram no comércio sob todas as formas (sem costura, com costura etc.), e em todos os diâmetros e espessuras, bem como apresentam maior ou menor facilidade de obtenção, incluindo-se nesse aspecto a existência ou não de estoques, a necessidade ou não de importação, as quantidades mínimas exigidas para a compra, os prazos de entrega etc. Todos esses pontos devem ser levados em consideração na seleção dos materiais.

6. *Sistema de ligações* — O material deverá ser adequado ao sistema de ligações que se deseja empregar. O sistema de ligações, por sua vez, dependerá da necessidade ou não de desmontagem, diâmetro da tubulação, custo, grau de segurança, condições de serviço, recursos de que se dispõe para a montagem etc., como já vimos no Cap. 3.

7. *Custo do material* — É evidentemente um fator importantíssimo e muitas vezes o decisivo. Para cada aplicação prática existem sempre vários materiais possíveis: o melhor será o que for mais econômico. Deverá ser considerado não só o custo direto, como também o tempo de vida (em função da corrosão prevista), e os conseqüentes custos de reposição e de paralisação do sistema. Como os preços dos materiais costumam ser referidos aos pesos, para se fazer a comparação entre os custos dos diversos materiais deve-se corrigir as diferenças dos valores das resistências mecânicas de cada um.

8. *Segurança* — Quando o risco potencial da tubulação ou do local for grande, ou ainda quando o serviço da tubulação for muito importante, há necessidade do emprego de materiais que ofereçam o máximo de segurança, de forma a evitar a possibilidade de rupturas, vazamentos ou outros acidentes que possam resultar em paralisação do sistema ou mesmo em prejuízos ou desastres. São exemplos de risco potencial elevado as tubulações que trabalham com fluidos inflamáveis, explosivos, tóxicos, ou em temperaturas ou pressões muito altas. Do maior ou menor grau de segurança exigido dependerão a resistência mecânica e o tempo mínimo de vida necessário. Por exemplo, os materiais de baixo ponto de fusão (plásticos, borrachas, alumínio, chumbo etc.), não podem ser empregados para tubulações importantes, sempre que o risco de incêndio deva ser considerado, ainda que remoto.

9. *Experiência prévia* — A decisão por um determinado material obriga sempre que se investigue e analise a experiência prévia que possa existir com esse material no mesmo serviço. Em casos importantes é em geral muito arriscado decidir-se por um material para o qual não exista nenhuma experiência anterior em serviço semelhante. Voltaremos a esse assunto mais adiante.

10. *Facilidades de fabricação e de montagem* — Todos os materiais têm determinadas limitações quanto às possibilidades de fabricação e de montagem, que devem ser consideradas para a seleção de materiais. Entre essas limitações incluem-se a soldabilidade, usinabilidade, facilidade de conformação etc. Soldabilidade não significa apenas a possibilidade do emprego de solda, mas também a maior ou menor facilidade de soldagem, e a necessidade ou não de tratamentos térmicos ou de outros cuidados especiais.

11. *Velocidade do fluido* — Para alguns materiais a velocidade do fluido pode influir grandemente nas resistências à corrosão e à erosão do material.

12. *Perdas de carga* — Quando, por exigência de serviço, é imposto um determinado limite para as perdas de carga, o material deverá ser de baixo coeficiente de atrito para atender a essa exigência. Deve ser considerada a possibilidade do aumento das perdas de carga decorrente da maior rugosidade das paredes dos tubos em conseqüência de corrosão, erosão etc., bem como de depósitos e incrustações.

13. *Tempo de vida previsto* — O tempo de duração mínima do material tem de ser compatível com o tempo de vida útil previsto para a tubulação. Por sua vez, o tempo de vida útil depende da natureza e importância da tubulação, do tempo de amortização do investimento, e do tempo provável de obsolescência da tubulação ou da instalação.

Para a solução do problema da seleção dos materiais, a experiência do projetista (ou da organização de projetos) é indispensável e insubstituível. Só a experiência, resultado do acúmulo de soluções adotadas em casos anteriores, é capaz de julgar com objetividade e segurança o grau de influência de cada um dos fatores acima. Para a maioria dos tipos de serviços mais usuais já existem materiais consagrados pela tradição, pela prática de projetistas e de usuários, ou pelas normas e códigos. Seguir simplesmente a

tradição é a solução mais rápida e segura, embora nem sempre resulte no material melhor e mais econômico. O projetista deve ter sempre o espírito aberto para aceitação de novas práticas, porque a tecnologia evolui rápido, e continuamente estão sendo lançados novos materiais, ou aperfeiçoados os existentes.

Deve ser observado que quando se considera a experiência prévia de um determinado material, os dados de experiência sejam relativos a um serviço *exatamente* igual ao que se tenha, e não apenas semelhante, porque numerosas circunstâncias variáveis (temperatura, velocidade relativa, concentração do fluido, impurezas presentes, pH etc.), podem modificar completamente o comportamento do material quanto à corrosão. Quando as únicas experiências prévias disponíveis forem relativas a um serviço não exatamente igual, inclusive quando consistirem apenas em ensaios de laboratório, é importante que sejam estudadas com cuidado as diferenças em relação ao serviço real, e as suas possíveis conseqüências no comportamento do material. Os dados de catálogos de fabricantes e fornecedores de materiais, mesmo quando fidedignos, devem ser considerados com cautela, porque muitas vezes são extremamente simplificados. Em casos importantes, é indispensável a consulta a um especialista em corrosão.

Damos a seguir, como sugestão, condensando muitas das recomendações já referidas em capítulos anteriores, os materiais usualmente empregados em alguns serviços mais comuns na prática. As margens para corrosão indicadas são valores médios aceitáveis para uma vida útil prevista de 10 a 15 anos. Em todos os casos, a classe de pressão dos flanges depende das condições de pressão e de temperatura, como explicado no Item 3.8.

8.2 Tubulações para Água Doce

A água doce limpa, com reação neutra (pH entre 6 a 10), é um fluido de baixa corrosão, para o qual os seguintes materiais podem ser indicados:

1. Tubulações de baixa pressão e temperatura moderada (até 1 MPa $\cong$ 10 kg/cm^2 e até 60°C), não enterradas:

— Tubos, até 4″ de diâmetro: Aço-carbono galvanizado (ASTM A120), ou ferro maleável galvanizado, com extremidades rosqueadas; para ramais e redes de distribuição de pequeno diâmetro podem ser usados tubos de PVC, também rosqueados.
— Válvulas, até 4″ de diâmetro: Carcaça de bronze e mecanismo interno também de bronze, castelo de união, extremidades rosqueadas.
— Tubos, diâmetros de 2″, ou maior: Aço-carbono (ASTM A120 ou A134), com margem para corrosão de 1,2 mm, extremidades para solda de topo. Para diâmetros de 3″, ou maior, podem ser usados tubos de ferro fundido, com extremidades de ponta e bolsa.
— Válvulas, diâmetros de 3″, ou maior: Carcaça de ferro fundido e mecanismo interno de bronze, castelo aparafusado, extremidades com flanges de face plana.
— Flanges: Aço-carbono, tipo sobreposto, face plana.
— Conexões de tubulação: Diâmetros até 4″: Aço-carbono (ou ferro maleável) galvanizado, extremidades rosqueadas; diâmetros de 2″, ou maior: aço-carbono (ASTM A234), extremidades para solda de topo.
— Juntas para flanges: Borracha natural ou papelão hidráulico, conforme EB-216.

2. Tubulações de baixa pressão e temperatura moderada (até 1 MPa e 60°C), enterradas:

— Tubos, até 2″ de diâmetro: PVC, com extremidades rosqueadas.
— Tubos, diâmetros de 3″, ou maior: Ferro fundido, com extremidades de ponta e bolsa; para diâmetros de 20″, ou maiores, podem ser usados tubos de concreto armado.
— Válvulas, flanges e juntas (qualquer diâmetro) e acessórios de tubulação (diâmetros até 4″): Como acima, para as tubulações não enterradas.
— Conexões de tubulação, diâmetros até 2″: PVC, com extremidades rosqueadas; diâmetros de 3″ ou maior: ferro fundido, com extremidades de ponta e bolsa.

3. Tubulações para pressões e temperaturas mais elevadas, não enterradas, dentro de instalações industriais, inclusive para alimentação de caldeiras:

— Tubos, até 1½″ de diâmetro: Aço-carbono (ASTM A53 ou API5L), com margem para corrosão de 1,2 mm, extremidades lisas.
— Tubos, diâmetros de 2″, ou maior: Como acima, extremidades para solda de topo.
— Válvulas, até 1 ½″ de diâmetro: Carcaça de aço-carbono forjado (ASTM A105), mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410, extremidades para solda de encaixe.
— Válvulas, diâmetros de 2″, ou maior: Carcaça de aço-carbono fundido (ASTM A216), mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410, extremidades com flanges de face com ressalto.
— Flanges: Aço-carbono, tipo de pescoço, face com ressalto.
— Juntas: Papelão hidráulico, conforme EB-212.
— Conexões de tubulação: Diâmetros até 1 ½″: aço-carbono forjado (ASTM A105), extremidades para solda de encaixe; diâmetros de 2″, ou maior: aço-carbono (ASTM A234), extremidades para solda de topo.

Observações: 1. As águas ácidas ou alcalinas podem ser altamente corrosivas; veja Item 8.11, a seguir, para al-

gumas recomendações de materiais. Em casos não muito severos ou em serviços não contínuos, podem ser empregados os mesmos materiais indicados acima, sendo aconselhável adotar, para o aço-carbono, maior margem para corrosão (3 a 4 mm). As válvulas devem ter o mecanismo interno de metal Monel.

2. As águas com grande quantidade de sais dissolvidos, gases dissolvidos ou sólidos em suspensão podem ser muito agressivas. Os cloretos e sulfetos, principalmente, são muito corrosivos; os carbonatos e bicarbonatos são pouco corrosivos. A existência de nível livre de água na tubulação, bem como o serviço intermitente, podem agravar seriamente a corrosão.

3. O condensado proveniente de vapor pode conter certa quantidade de CO_2, que dá origem ao ácido carbônico, muito corrosivo; recomenda-se também adotar maior margem para o aço-carbono (2 a 3 mm).

8.3 Tubulações para Águas Agressivas

A água do mar, águas salobras, águas muito salinas, e águas poluídas de um modo geral, são extremamente agressivas para o aço-carbono e vários outros materiais metálicos. Por esse motivo, as tubulações para serviço contínuo com essas águas (para fins de resfriamento, por exemplo) constituem sempre um grave problema de manutenção devido à intensa corrosão a que estão sujeitas, agravada pelo fato de serem fluidos altamente eletrolíticos. A corrosão aumenta com a temperatura e também para velocidades de circulação muito altas ou muito baixas (ou nula). Com a água do mar, além da corrosão há ainda o problema da proliferação de algas, mariscos e outros organismos marinhos, que causam obstrução das tubulações e ataque biológico ao metal. Esse último problema pode ser reduzido ou controlado pela cloração prévia da água, ou pela adição de biocidas. Chama-se atenção que com o emprego de tubos de cobre-níquel deve-se evitar a cloração da água, devido ao ataque dos hipocloritos sobre esse material.

As tubulações para serviço não-contínuo que trabalham com águas agressivas (como é o caso, muitas vezes, de tubulações de incêndio), recomenda-se que sejam lavadas com água doce depois de cada utilização, e mantidas cheias com água doce.

Podem ser recomendados os seguintes materiais:

— Tubos, diâmetros até 4″: PVC ou aço galvanizado (para pressões maiores). Com o aço galvanizado pode haver séria corrosão nas emendas dos tubos, que terão de ser rosqueados, porque não é possível o emprego de solda. Para tubulações curtas ou de diâmetro pequeno, podem ser empregados o metal Monel ou o cobre-níquel, que têm ótima resistência à água salgada; o uso desses materiais é entretanto restrito devido ao custo elevado.
— Tubos, diâmetros de 2″, ou maior: Aço-carbono, com revestimento interno de epóxi ou de borracha, extremidades para solda de topo.
— Tubos, diâmetros de 6″, ou maior: Aço-carbono, com revestimento interno de concreto, extremidades para solda de topo. O revestimento é aplicado por centrifugação e costuma ter uma espessura de 4 a 8 mm; em tubos de 600 mm de diâmetro, ou maiores, deve-se soldar internamente uma tela metálica para reforçar o revestimento, evitando trincas e desprendimento de pedaços. A tela fica embutida e recoberta pelo concreto.

Em qualquer caso, as emendas dos tubos estarão sujeitas a severa corrosão, a menos que o revestimento seja recomposto, nos locais das emendas, depois da tubulação montada. A recomposição é em geral possível, para o revestimento de epóxi, em diâmetros de 2″, ou maior, e para o revestimento de concreto, em diâmetros de 600 mm, ou maior. Para permitir a recomposição do revestimento, recomenda-se a colocação de ligações flangeadas de espaço em espaço, devendo o revestimento estender-se também pela face completa de todos os flanges.

— Válvulas, diâmetro até 2″: Carcaça de bronze, com mecanismo interno também de bronze, extremidades rosqueadas.
— Válvulas, diâmetros de 3″, ou maior: A solução mais comum é o emprego de válvulas de ferro fundido, flangeadas, com mecanismos interno de bronze. Com essas válvulas haverá entretanto corrosão galvânica entre o ferro e o bronze e corrosão grafítica do ferro fundido. Para serviços contínuos importantes recomendam-se válvulas de ferro-níquel, com internos de bronze, apesar do custo bastante elevado.
— Conexões de tubulação: Mesmo material dos tubos e mesmo tipo de extremidades e de revestimento.

Observações: 1. Para águas com pequena quantidade de sais (como é o caso de alguns efluentes de processo), podem ser adotados tubos de aço-carbono, com uma margem para corrosão mínima de 4 mm.

2. Os aços inoxidáveis estão sujeitos a uma séria corrosão por pites e com os inoxidáveis austeníticos haverá ainda ocorrência de corrosão sob-tensão, para temperaturas acima de 50-70°C. O contato direto entre metais diferentes pode dar origem à severa corrosão galvânica, e cada caso deve ser estudado com cuidado.

8.4 Tubulações para Vapor

O vapor é um fluido pouco corrosivo, para o qual os diversos materiais podem ser empregados até a sua temperatura limite de resistência mecânica aceitável. A Tabela 8.1 mostra os materiais que podem ser recomendados, de acordo com a temperatura máxima do vapor; os limites de temperatura estão fixados principalmente em função da resistência à fluência dos diversos materiais. Em todos os casos, os tubos de aço (de qualquer tipo), são ligados com

Tabela 8.1
Materiais para tubulações para vapor

Temperatura máxima do vapor (°C)	TUBOS				VÁLVULAS				*Flanges*	*Juntas para flanges*
	Diâmetro nominal (pol)	*Material* Especificações ASTM *ou* API	*Tipo de ligações*	*Margem para corrosão* (mm)	*Diâmetro nominal* (pol)	*Material* — *Carcaça*	*Material* — *Mec. interno*	*Tipo de extremidades*		
120 (inclusive vapor exausto e condensado)	todos	Aço-carbono A120 ou A53	solda	1,2	até 1 ½"	Bronze	Bronze	Rosca	Aço-carbono, face plana	Junta plana de papelão hidráulico conforme EB-212
	até 4"	Aço-carbono galvanizado	rosca	—	2" ou maior	Ferro fundido	Bronze	Flanges (face plana)		
200	todos até 2"	Aço-carbono A53 ou API5L Latão, cobre, alumínio	solda rosca ou solda	1,2 —	todos até 2"	Aço-carbono Bronze	Bronze Bronze	até 1 ½": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face com ressalto) rosca	Aço-carbono, face de ressalto	
380	todos	Aço-carbono A53 API5L ou A672 Gr A55	solda	1,2	todos	Aço-carbono	Aço inoxidável tipo 410 (sedes de "Stellite")	até 1 ½": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face com resslto)		Junta semimetálica em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto
420	todos	Aço-carbono acalmado (Si)-A106 ou A672 Gr B60, 70 ou Gr C60, 70	solda	1,2	todos	Aço-liga ½ Mo				
450	todos	Aço-liga ½ Mo A335 Gr. P1 ou A672 Gr CM65, 70	solda	1,2					Aço-liga 1/2 Mo, face de ressalto.	
470	todos	Aço-liga 1¼ Cr-½ Mo A335 Gr-P1 1 ou A691 Gr 1¼ Cr	solda	1,2	todos	Aço-liga 1¼ Cr-½ Mo		até 1 ½": Solda de encaixe 2" ou maior: Flanges (face para junta de anel) ou solda de topo	Aço-liga 1¼ Cr-½ Mo, face para junta de anel	Junta de anel metálico de aço inoxidável (Flanges de classe 600 #, ou acima)
480	todos						Aço inoxidável tipo 440 (sedes de "Stellite")			
550	todos	Aço inoxidável tipo 304	solda	—	todos	Aço inoxidável tipo 304		solda de topo	Evitar o uso de flanges	—

Tabela 8.2
Materiais para tubulações para hidrocarbonetos

Material	*Limites de temperatura (°C) e margens para corrosão (mm)*		
	Hidrocarbonetos com baixo enxofre (até 1%)	*Hidrocarbonetos com enxofre normal* (1% a 3%)	*Hidrocarbonetos com alto enxofre* (mais de 3%)
Aço-carbono	320° — 1,2 400° — 3,0	300° — 1,2	280° — 4,0
Aço-liga 5 Cr- ½ Mo	540° — 1,2	400° — 1,2	380° — 3,0

solda de encaixe para diâmetros até 1 ½" —, e com solda de topo para diâmetros de 2" ou maiores. As válvulas de aço são de construção forjada, com extremidades para solda de encaixe, para diâmetros até 1 ½", e fundidas, com extremidades flangeadas ou solda de topo, em diâmetros maiores.

Para pressões muito altas de vapor (acima de 40 kg/cm², por exemplo), convém que sejam adotados limites de temperatura mais baixos do que os mostrados na tabela, devido à elevada solicitação mecânica sobre o material.

Nas tubulações para vapor, as válvulas de bloqueio de diâmetro até 8" costumam ser válvulas de globo; para diâmetros maiores usam-se válvulas de gaveta. É usual que todas as válvulas de gaveta sejam do tipo com haste ascendente e rosca externa, embora esse requisito só seja exigido pela norma ASME B.31.1, para as válvulas de diâmetro de 3", ou maior, e de classe de pressão 600#, ou acima. Essa mesma norma exige também que as válvulas de gaveta de classe de pressão 400#, ou acima, tenham tubo de contorno (by-pass), integral com a válvula.

Em quaisquer tubulações para vapor é muito importante a perfeita e completa drenagem do condensado formado, por meio de purgadores, como já vimos no Cap. 7. Em linhas de vapor saturado, onde é maior a formação de condensado, é feita às vezes a instalação dos tubos com um pequeno caimento constante na direção do fluxo. Alguns projetistas têm por norma colocar também eliminadores de ar nos pontos altos das tubulações.

Todos os flanges devem ser sempre do mesmo material dos tubos, e dos tipos "de pescoço", ou "de anel", com face de ressalto para as classes de pressão 150# ou 400#, e com face para junta de anel, para as classes de pressão 600#, ou acima. As conexões de tubulação devem ser para solda de encaixe até 1½, e para solda de topo, em diâmetros maiores; em qualquer caso, devem ser sempre do mesmo material dos tubos.

Todas as tubulações de vapor devem ter isolamento térmico (veja Cap. 16).

8.5 Tubulações para Hidrocarbonetos

A corrosividade dos hidrocarbonetos, e portanto a seleção de materiais para tubulações em serviços com hidrocarbonetos, depende fundamentalmente da temperatura e da presença de impurezas, principalmente de produtos sulfurosos e clorados.

As tubulações de aço (de qualquer tipo), com diâmetro até 1½", devem ter ligações de solda de encaixe, e as de diâmetros maiores, ligações de solda de topo. As válvulas de aço com diâmetro até 1½" são de construção forjada, com extremidades para solda de encaixe, e as de diâmetros maiores são fundidas, com extremidades flangeadas.

Todos os flanges devem ser de aço (aço-carbono ou aços-liga, de acordo com o material do tubo), do tipo "pescoço", ou do tipo "anel", com face de ressalto ou face para junta de anel (para a classe de pressão 600#, ou acima). As conexões de tubulação devem ser para solda de encaixe, até 1½", e para solda de topo, em diâmetros maiores; em qualquer caso devem ser sempre do mesmo material dos tubos.

— *Materiais para tubos* (quaisquer diâmetros):

Para os hidrocarbonetos isentos — ou com muito pequena quantidade — de ácidos naftênicos, isto é, com "número de neutralização"(*) inferior a 0,5, pode-se, em primeira aproximação, recomendar os materiais indicados na Tabela 8.2, com os respectivos limites de temperatura e margens para corrosão. Para os hidrocarbonetos com índice de neutralização de 0,5, ou acima, veja Nota 3, a seguir.

Para temperaturas mais elevadas recomenda-se, sucessivamente, o uso de tubos de aço-liga 7 Cr — ½ Mo, e de aço inoxidável tipo 405.

— *Materiais para válvulas* (quaisquer diâmetros):

Temperaturas até 280°C: Carcaça de aço-carbono, mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410.

Temperaturas até 350°C: Carcaça de aço-liga 5 Cr — ½ Mo, mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410; para alto enxofre o mecanismo interno deve ser de aço inoxidável tipo 430 ou 304.

— *Juntas para os flanges*:

Flanges de classes de pressão 150# e 300#, para temperaturas até 250°C: Junta plana de papelão hidráulico, conforme EB-212.

(*) "Número de neutralização" é a quantidade de KOH, em miligramas, necessária para neutralizar um grama do hidrocarboneto.

Flanges de classes 150# e 300#, para temperaturas mais altas, e flanges de classe 400#: Junta semimetálica em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto ou de fibras de grafite flexível.

Flanges de classes 600#, ou acima: Junta de anel metálico de aço inoxidável.

Observações: 1. As indicações acima, referentes aos hidrocarbonetos com alto enxofre, são apenas aproximadas.

2. Os hidrocarbonetos com presença de cloretos, em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, são altamente corrosivos devido à possibilidade de formação de HCl diluído. Recomenda-se por isso que seja adotado, para o aço-carbono, maior margem para corrosão, 3 a 4 mm, por exemplo. As válvulas devem ter o mecanismo interno de metal Monel.

3. Os hidrocarbonetos contendo ácidos naftênicos (índice de neutralização $> 0{,}5$) são altamente corrosivos, exigindo-se, como qualidade mínima de material, o aço inoxidável tipo 316 para tubos, válvulas, internos de válvulas e conexões de tubulação.

4. Como todos os hidrocarbonetos são inflamáveis ou combustíveis, na maioria dessas tubulações existe risco de incêndio, às vezes em elevado grau. Por essa razão, não se podem admitir peças de materiais de baixo ponto de fusão (alumínio, materiais plásticos etc.), exceto em pequenas tubulações auxiliares e em algumas tubulações enterradas.

5. As tubulações para óleos viscosos têm, em geral, aquecimento e isolamento térmico, e as tubulações para óleos quentes devem ter sempre isolamento térmico (veja Cap. 16).

8.6 Tubulações para Ar Comprimido

O ar comprimido é também um fluido de baixa corrosão, para o qual os seguintes materiais podem ser recomendados:

1. Tubulações de baixa pressão (até 0,7 MPa $\cong$ 7 kg/cm^2):

— Tubos, até 4″ de diâmetro: Aço-carbono galvanizado (ASTM A120), com extremidades rosqueadas.
— Válvulas, até 4″ de diâmetro: Carcaça de bronze, com mecanismo interno de bronze, extremidades rosqueadas.
— Tubos, diâmetros de 2″, ou maior: Aço-carbono (ASTM A120 ou A134), com margem para corrosão de 1, 2 mm, com extremidades de solda de topo.
— Válvulas, diâmetros de 3″, ou maior: Carcaça de ferro fundido, com mecanismo interno de bronze, extremidades com flanges de face plana.

2. Tubulações de alta pressão (mais de 0,7 MPa):

— Tubos: Aço-carbono (ASTM A53 ou API5L), com margem para corrosão de 1,2 mm, com extremidades lisas em diâmetros até 1 ½″, e para solda de topo em diâmetros maiores.
— Válvulas: Carcaça de aço-carbono forjado, com extremidades para solda de encaixe, para diâmetro até 1 ½″, e de aço-carbono fundido, com extremidades com flanges de face com ressalto, para diâmetros maiores; em todos os casos o mecanismo interno será de aço inoxidável tipo 410.

Para qualquer caso, todos os flanges devem ser de aço-carbono, com face de ressalto. Para temperaturas até 60°C, ou pressão até 1 MPa ($\cong$ 10 kg/cm^2), as juntas poderão ser de borracha natural; para temperaturas ou pressões mais elevadas deverão ser de papelão hidráulico, conforme EB-212.

Em todas as tubulações de ar comprimido existe o problema da drenagem da água proveniente da umidade que se condensa pelo resfriamento do ar, ou que se forma quando o fluxo no sistema é interrompido. Por essa razão devem ser instalados separadores de água em todos os pontos baixos, antes das válvulas de bloqueio e nas extremidades de linhas. Se possível, a água condensada deve correr por gravidade para os separadores.

Quando se exige que o ar seja limpo, com a finalidade principalmente da preservação dos equipamentos onde o mesmo será utilizado, devem também ser instalados filtros para reter poeiras, umidade e óleo carreado. A presença de óleos e graxas em linhas de ar comprimido é perigosa porque pode dar origem a explosões causadas pelo aquecimento conseqüente da compressão do ar.

As tubulações de ar comprimido para a transmissão de sinais para instrumentos automáticos e válvulas de controle, costumam ser construídas com tubos de alumínio, cobre, latão ou materiais plásticos. Os diâmetros dos tubos são sempre pequenos (até ¾″) e as pressões muito baixas. Nos tubos metálicos usam-se ligações de compressão.

8.7 Tubulações para Temperaturas Elevadas

Na Tabela 8.3 estão mostrados os limites de temperatura aceitáveis para diversos materiais, que poderão orientar a seleção de materiais para tubulações em serviços não-corrosivos em temperaturas elevadas.

As temperaturas limites de resistência mecânica são os valores acima dos quais a resistência do material (resistência à fluência) está muito baixa, não sendo por isso econômico o emprego do material. Esses limites só podem ser ultrapassados para tubulações de baixa pressão.

As temperaturas limites de início de formação de carepa (scaling) não podem ser ultrapassadas em serviço contínuo em nenhum caso, tolerando-se, às vezes, a ultrapassagem apenas em surtos de muito curta duração.

Chama-se atenção que para a maioria dos serviços corrosivos os limites de temperatura deverão ser inferiores aos acima indicados; em atmosferas oxidantes ou corrosivas também a oxidação superficial intensa se inicia em temperaturas mais baixas do que as mostradas na tabela.

Tabela 8.3
Materiais para temperaturas elevadas

Material	*Temperatura limite de resistência mecânica* (°C)	*Temperatura limite de início de formação de carepa* (°C)
— Aço-carbono acalmado (Si) [A106 ou A672 Gr B60, 70]	450	530
— Aço-liga ½ Mo	510	530
— Aço-liga 1 ¼ Cr — ½ Mo	550	550
— Aços inoxidáveis tipos 304 e 316	600	900
— Aços inoxidáveis tipos 304H e 316H	650	900
— Aço inoxidável tipo 310	600	1.100
— Inconel, Incoloy	900	1.200

Quando se empregam aços inoxidáveis austeníticos para temperaturas de regime superiores a 550°C, recomenda-se que sejam usados os aços do tipo "H" (304H, 316H etc.).

Para serviços de alta pressão ou de risco elevado, recomenda-se que sejam adotadas temperaturas limites inferiores às acima indicadas, como é o caso das tubulações para vapor, já vistas no Item 8.4.

Em todos os casos recomenda-se também o seguinte:

- Sistema de ligação dos tubos: Diâmetros até 1 ½", solda de encaixe; diâmetros de 2", ou maior, solda de topo.
- Flanges: Aço (material de acordo com os tubos), tipo de pescoço ou tipo de anel, face de ressalto para classes de pressão até 400#, ou temperaturas até 550°C, e face para junta de anel, para classes de pressão ou temperaturas mais altas.
- Válvulas: Material da carcaça de acordo com os tubos: construção forjada com extremidades para solda de encaixe, para diâmetros até 1½"; fundidas, com extremidades flangeadas, para diâmetros de 2", ou maior. Mecanismo interno de aço inoxidável tipo 410, para temperaturas até 600°C, de aço inoxidável tipo 446, para temperaturas até 800°C, e de Inconel, para temperaturas mais altas.
- Conexões de tubulação: Material e tipo de extremidades de acordo com os tubos.
- Juntas para flanges: Juntas semimetálicas em espiral, de aço inoxidável com recheio de amianto, para flanges de classe de pressão até 400#, ou temperaturas até 550°C; juntas de anel metálico, para condições mais severas.

8.8 Tubulações para Baixas Temperaturas

Em temperaturas muito baixas alguns metais (como é o caso do aço-carbono) perdem a ductilidade, ficando sujeitos a fraturas frágeis repentinas. Podemos estabelecer os seguintes limites de temperaturas baixas para o uso dos diversos materiais para tubos:

Aço-carbono não acalmado (ASTM A53, API5L etc.) e aço-carbono de qualidade estrutural (ASTM A120, A134 etc.)		zero C
Aço-carbono acalmado (ASTM A106):	—	20°C
Aço-carbono acalmado, de grão fino, para baixas temperaturas (ASTM A333 Gr.6):	—	45°C
Aço-liga 2½ Ni	—	75°C
Aço-liga 3½ Ni	—	100°C
Aço-liga 9 Ni, aços inoxidáveis tipos 310, 316 e 317	—	195,C
Aço inoxidável tipo 304	—	255°C
Cobre, bronzes, latões	—	270°C
Alumínio, aço inoxidável tipo 304L	Sem limite	

Para os aços-carbono e aços-liga Ni é usual a exigência de testes de impacto, na temperatura mínima de trabalho, em corpos de prova de todos os materiais submetidos a temperaturas inferiores a zero °C, inclusive os materiais de aparafusamento de flanges. Para os materiais soldados, os corpos de prova deverão conter uma solda, e o teste deve ser feito na solda e na região termicamente afetada. Para os aços inoxidáveis austeníticos esses testes são necessários apenas para o material das peças fundidas.

Chama-se atenção que por ser o alumínio um metal de baixo ponto de fusão, não pode ser empregado em tubulações ou em locais onde se exija segurança contra fogo.

Em todos os casos recomenda-se também:

- Sistemas de ligação dos tubos: Como acima, para temperaturas elevadas.
- Flanges: Do tipo de pescoço, ou do tipo de anel, com face de ressalto, material de acordo com os tubos.
- Válvulas: Material da carcaça de acordo com os tubos; construção forjada, com extremidades para solda de encaixe, para diâmetros até 1½"; fundidas, com extremidades flangeadas, para diâmetros maiores.
- Conexões de tubulação: Material e tipo de extremidades de acordo com os tubos.
- Juntas para flanges: Juntas semimetálicas, em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto.

8.9 Tubulações para Gases

Os gases quando secos, isto é, mantidos em temperaturas acima do seu ponto de orvalho, são em geral pouco corrosivos. Por esse motivo, em muitas tubulações para gases em refinarias, indústrias químicas e petroquímicas, usinas siderúrgicas etc., a seleção do material depende unicamente da temperatura, podendo ser empregado o aço-carbono, e os diversos aços-liga e aços inoxidáveis, até os seus limites de temperatura, mostrados no Item 8.7. Para tubulações com diâmetro superior a 600 mm, operando em temperaturas acima de 400°C, podem ser adotados economicamente tubos de aço-carbono com um revestimento interno de concreto refratário, de modo que a temperatura no metal fique abaixo do limite aceitável para o aço-carbono. Como já referido no Item 2.21, deve haver uma armação metálica de aço inoxidável, soldada internamente na parede dos tubos, para dar resistência e segurar o revestimento.

Para gases em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, poderá haver severa corrosão devido à formação de ácidos diluídos, sendo muitas vezes necessários tubos de materiais mais resistentes à corrosão, ou à colocação de revestimentos anticorrosivos de plásticos, borrachas, concretos etc. Deve-se prestar atenção para o caso das tubulações que normalmente trabalham quentes, mas que quando fora de operação, ou em condições anormais, possam ficar em temperaturas inferior ao ponto de orvalho. Para esses casos pode-se recomendar, quando for possível, o detalhamento da tubulação de forma a garantir a sua perfeita e completa drenagem ou, alternativamente, o preenchimento da tubulação com um gás inerte sempre que a temperatura cair abaixo do ponto de orvalho(*).

Para a distribuição de gases de baixa pressão as tubulações podem ser enterradas, podendo-se empregar tubos de ferro fundido de ponta e bolsa (especiais para gases) ou tubos de aço-carbono com costura. Nessas tubulações devem ser adotadas as precauções para a coleta de líquidos condensados ou carreados, tais como caimento constante e colocação de separadores de líquidos nos pontos baixos.

8.10 Tubulações para Hidrogênio

A presença do hidrogênio, tanto como gás puro como em mistura com outros gases ou líquidos, tem vários efeitos deletérios sobre os aços em geral: fragilização do material em temperaturas elevadas, empolamento (formação de bolhas subsuperficiais) — mesmo em temperatura ambiente —, e ainda descarbonetação superficial (formação de metano) que diminui a resistência mecânica dos aços.

O efeito mais grave é a fragilização que ocorre em temperaturas elevadas, e cuja intensidade depende da temperatura e da pressão do hidrogênio (ou da pressão parcial, no caso de misturas contendo hidrogênio). A seleção do material para prevenir essa fragilização é feita pela consulta às denominadas "Curvas de Nelson", publicadas na norma API-RP 941, do "American Petroleum Institute", que mostram os campos de aplicação do aço-carbono e dos diversos aços-liga Cr-Mo e aços inoxidáveis, em função da temperatura e da pressão parcial do hidrogênio. O uso do aço-carbono é permitido até a sua temperatura limite de uso prático, desde que a pressão do hidrogênio (ou pressão parcial) seja inferior a 7 kg/cm^2; para pressões maiores, o emprego do aço-carbono só é possível até 250°C. Para condições mais severas de pressão e/ou de temperatura, devem ser empregados, sucessivamente, os aços-liga Mo, Cr-Mo, e os aços inoxidáveis austeníticos.

Em qualquer condição, inclusive para temperatura ambiente, os aços-carbono devem ser sempre totalmente acalmados (tubos de especificação ASTM A106 ou A672 Gr B60, 70 ou Gr C60, 70).

Em todas as tubulações que trabalham com hidrogênio em pressão (ou pressão parcial) superior a 0,45 MPa ($\cong$ 4,5 kg/cm^2), todas as ligações devem ser com solda de topo, devendo-se evitar as roscas e soldas de encaixe. Por esse motivo, não se devem usar tubos com diâmetro inferior a 1". O emprego de flanges deve ser apenas onde for absolutamente indispensável, não devendo serem usados flanges rosqueados, sobrepostos ou para solda de encaixe. Os flanges até a classe 400#, inclusive, devem ter face com ressalto com acabamento liso (rugosidade média máxima de 0,003 mm), para uso com juntas semimetálicas em espiral, de aço inoxidável, com recheio de amianto. Os flanges de classe 600#, ou acima, devem ter face para junta de anel, empregando-se juntas de anel ovalado de aço inoxidável. Todas as soldas devem ser obrigatoriamente de penetração total, e não podem ser permitidas quaisquer ligações rosqueadas ou para solda de encaixe.

Todas as válvulas abrindo para o exterior (drenos, respiros etc.) devem ser flangeadas e fechadas com um flange cego (veja Item 10.9.1).

8.11 Tubulações para Ácidos e para Álcalis

Veremos a seguir, como primeira indicação, alguns materiais que podem ser recomendados para serviços com três dos ácidos minerais fortes mais importantes: ácidos sulfúrico, clorídrico e nítrico.

Todas as recomendações de material estão em função da temperatura ou da concentração dos ácidos. Para os materiais que só são recomendados em concentrações elevadas, deve ser tomado cuidado com a possibilidade de diluição acidental do ácido, que pode ocorrer inclusive como conseqüência de absorção da umidade do ar, causando violenta corrosão na tubulação, principalmente se houver nível livre de líquido.

— *Ácido sulfúrico:*

(*) Deve ser lembrado que a temperatura do ponto de orvalho depende da pressão reinante, sendo tanto mais alta quanto maior for a pressão.

Aço-carbono: Temperatura ambiente, para concentrações acima de 85%, e velocidade até 1 m/s.
Chumbo, aço inoxidável especial "Carpenter 20"(*). Concentrações até 90% em temperaturas até 100°C.
Metal Monel: Concentrações até 60%.
Materiais plásticos: Concentrações até 70% para temperaturas até 50°C.
"Hastelloy C", vidro, porcelana: Qualquer condição de temperatura ou de concentração.

— *Ácido clorídrico:*

Bronze, cobre, metal Monel: Temperatura ambiente, para concentrações até 10%.
Materiais plásticos, borrachas: Temperatura ambiente para concentrações até 50%.
Cobre-níquel: Concentrações até 40% para temperatura ambiente, e até 10% para temperaturas até 100°C.
"Hastelloy B", "Chlorimet 2": Concentrações até 50%, em qualquer temperatura.
Vidro, porcelana: Qualquer condição de temperatura ou de concentração.

— *Ácido nítrico:*

Aço inoxidável tipo 304L: Concentrações até 95%.
Alumínio: Concentrações acima de 95%, em temperatura ambiente.
Materiais plásticos: Concentrações até 40%, em temperaturas até 50°C.
Vidro, porcelana: Qualquer condição de temperatura ou de concentração.

Para as tubulações em serviços com álcalis (soda cáustica, soluções de soda etc.), a seleção de materiais depende essencialmente da temperatura, podendo-se distinguir três casos:

— Temperaturas até 40°C: Permite-se o emprego de aço-carbono, sem limitações.
— Temperaturas entre 40°C e 70°C: Permite-se ainda o uso do aço-carbono, devendo entretanto ser feito um completo tratamento térmico de alívio de tensões em todas as soldas, curvas de tubo dobrado, ou qualquer outra região submetida a algum trabalho de conformação a frio, para evitar a ocorrência de corrosão sob tensão. As válvulas devem ser de metal Monel.
— Temperaturas acima de 70°C: Recomendam-se tubos e válvulas de cobre, bronze ou metal Monel. Podem ser empregados ainda, para quaisquer concentrações, a resina epóxi (até 80°C), ebonite (até 120°C), e o PTFE (até 250°C).

Em tubulações de aços inoxidáveis ou de metais não-ferrosos, para temperaturas até 60°C, os flanges de classe de pressão 150# podem ser do tipo "solto". Nesses casos, os flanges podem ser sempre de aço-carbono, sendo as virolas do mesmo material dos tubos. Para todos os materiais metálicos as ligações devem ser com solda de topo ou flangeadas, tanto nos tubos como nas válvulas, conexões etc., devendo-se evitar roscas e soldas de encaixe.

Para os serviços, em que sejam recomendados materiais plásticos, para os diâmetros superiores a 2" costuma-se empregar tubos de aço com revestimento plástico interno. Todas as ligações devem ser com solda de topo ou flangeadas. No primeiro caso, o revestimento deve ser cuidadosamente recomposto depois da soldagem, recomendando-se para isso que sejam previstas ligações flangeadas de espaço em espaço para permitir esse serviço. Em todos os flanges o revestimento deve se estender obrigatoriamente por toda face. Para qualquer diâmetro de tubo, as válvulas, tanto de bloqueio como de regulagem, são usualmente do tipo diafragma.

Em quaisquer serviços com ácidos ou com álcalis, deve ser tomado muito cuidado com a possibilidade de ação galvânica entre metais diferentes em contato, que poderá resultar em corrosão muito intensa devido ao meio fortemente elètrolítico.

8.12 Tubulações para Esgotos e para Drenagem

Quase todas as tubulações de esgotos são enterradas, tanto para esgoto pluvial como para esgoto sanitário e esgoto industrial; fazem exceção apenas pequenos trechos em subsolos e subterrâneos de edifícios. A maior parte dessas tubulações funciona sem pressão, como canais, com superfície livre de líquido; por essa razão devem ter um caimento constante, obedecido o mais rigorosamente possível, como veremos no Item 10.11.

A corrente líquida nas tubulações de esgoto é quase sempre agressiva. Nas tubulações de esgoto industrial, além dos líquidos serem corrosivos são ainda freqüentemente de natureza variável, quanto à composição química, concentração, temperatura, condições de corrosão etc.

Para as tubulações de esgoto pluvial adotam-se tubos de barro vidrado, cimento-amianto, ferro fundido ou concreto, todos com ligações de ponta e bolsa. A escolha entre esses materiais dependerá do diâmetro e da resistência mecânica necessária em função das sobrecargas externas. As linhas de esgoto sanitário são quase todas construídas de tubos de barro vidrado; para os ramais de diâmetros pequenos podem-se usar tubos de chumbo ou de PVC, e para os grandes troncos são empregados os tubos de concreto armado ou mais raramente de ferro fundido.

A escolha dos materiais para tubulações de esgoto industrial depende da natureza e do grau de corrosividade

---

(*) "Carpenter 20" é um aço inoxidável austenítico com a seguinte composição aproximada: Ni-34%, Cr-20%, Mo-2,5%, Mn-2%.
Metal Monel é uma liga níquel-cobre contendo 63% Ni, 26% cobre.
"Hatelloy C", "Hatelloy B" e "Chlorimet 2", são ligas especiais de níquel com as seguintes composições aproximadas:
Hatelloy C: Ni-55%, Cr-15%, Mo-16%, Fe-5%, W-4%, Co-2,5%.
Hatelloy B: Ni-63%, Mo-27%, Fe-5%, Cr-1%, Co-2,5%, Mn-1%.
Chlorimet 2: Ni-63%, Mo-32%, Fe-3%, Mn-1%.

da corrente líquida. Para a maioria dos casos, satisfazem os tubos de chumbo, PVC e barro vidrado para os diâmetros médios, e concreto armado para os diâmetros muito grandes. Em casos especiais pode ser necessário o emprego de tubos de ferro fundido com revestimentos internos de plásticos, borrachas etc.

Os esgotos industriais, quando pressurizados, devem ser construídos de tubos de aço (se necessário com revestimentos internos contra a corrosão), até a primeira caixa-de-visita. Quando os líquidos de esgoto forem ácidos ou acidulados, não se devem usar tubos de concreto ou de cimento-amianto, nem argamassa de cimento como material de vedação.

Em quaisquer casos de tubulações de esgotos, com ligações de ponta e bolsa, deve ser verificado se o material dos tubos e também o material de vedação das juntas resistem à ação corrosiva da corrente líquida.

Nas indústrias de processamento de fluidos existem quase sempre redes especiais de esgotos para fluidos residuais e também para a drenagem de emergência da instalação. Nessas tubulações os fluidos circulantes são os próprios fluidos que estão sendo processados. Por essa razão os materiais empregados são os mesmos das tubulações de processo, ou sejam, tubos de aço-carbono soldados a topo, na maioria dos casos. Essas tubulações são geralmente acima do solo e trabalham com temperaturas e pressões baixas. A drenagem de emergência pode ser feita succionando-se com bombas os fluidos contidos no sistema (pump-out), ou deixando-se os fluidos serem expulsos pela própria pressão do sistema (blow down).

8.13 Especificações de Material de Tubulação

Chamam-se Especificações de Material de Tubulação às normas específicas detalhando todos os materiais para as tubulações das diversas classes de serviços, em um determinado projeto ou instalação.

Cada serviço é caracterizado principalmente por um determinado fluido, em determinadas condições de pressão e de temperatura. Não é necessário que se tenha uma especificação diferente para cada serviço em particular; na prática, é geralmente possível, e até recomendável, agrupar dois ou mais serviços na mesma especificação de material, desde que se possa, para todos esses serviços, adotar economicamente os mesmos tubos, válvulas, conexões, juntas, e todos os outros materiais, quanto ao tipo, modelo, material etc.

Em um determinado projeto não se deve ter um número muito grande de especificações, que complicaria o projeto e dificultaria a compra e estocagem dos materiais, mas também não se deve ter um número muito pequeno, que resultaria fatalmente em despesas desnecessárias conseqüentes do uso não adequado de muitos materiais. É evidente que, havendo uma única especificação, esta deveria estar adequada ao serviço mais severo, ficando assim superdimensionada para todos os demais serviços.

Cada especificação de material abrange sempre uma certa faixa de variação de pressão e de temperatura, e algumas vezes também uma certa faixa de diâmetros, com um valor máximo e um valor mínimo. Para simplificação, procura-se fazer coincidir a faixa de variação de pressões e de temperaturas de cada especificação com a faixa de variação de cada classe de pressão nominal (Rating) de flanges, válvulas e conexões. Assim, por exemplo, teremos uma especificação abrangendo a faixa de variação de pressões e temperaturas correspondentes à classe de pressão nominal de 150# de flanges, válvulas e conexões, outra especificação abrangendo a faixa de variação correspondente à classe 300#, e assim por diante.

Para a elaboração das especificações de material de um determinado projeto, o primeiro passo é a listagem de todos os serviços que existam, com suas características completas, que devem incluir pelo menos as seguintes:

— Fluidos, com suas condições de corrosão e possíveis exigências de não-contaminação, segurança etc.
— Limites de pressão e de temperatura (máximos e mínimos).
— Limites de diâmetro das tubulações (máximo e mínimo).
— Exigências especiais ou não usuais, ou recomendações quanto a tipo de válvulas, meios de ligação, juntas etc.

Feita esta listagem, é possível gruparem-se os serviços que possam ser incluídos em uma mesma especificação, isto é, para os quais se possam economicamente recomendar os mesmos materiais, mesmas espessuras, mesmos tipos de válvulas, de meios de ligação etc. Para a seleção de materiais devem ser levados em consideração os diversos fatores de influência descritos no Item 8.1.

Em um determinado projeto, teremos, por exemplo, sete especificações diferentes para os seguintes serviços:

— Hidrocarbonetos líquidos, pouco corrosivos, classe de pressão 150#.
— Idem, classe de pressão 300#.
— Hidrocarbonetos líquidos, muito corrosivos (maior margem para corrosão), classe de pressão 150#.
— Hidrocarbonetos gasosos (válvulas diferentes dos hidrocarbonetos líquidos), classe de pressão 150#.
— Vapor vivo, classe de pressão 150#.
— Idem, classe de pressão 600#.
— Água doce, ar comprimido, condensado.

Observe-se que as quatro primeiras abrangem vários fluidos diferentes, e a última três serviços diferentes.

Cada especificação de material será designada por uma sigla alfabética, escolhida arbitrariamente, que deverá fazer parte da sigla de identificação de todas as tubulações, como será referido no Item 13.2. As especificações devem conter pelo menos as seguintes informações:

— Sigla indicativa da especificação.
— Classes de fluidos a que se destina a especificação
— Faixa de variação de pressão e de temperatura.
— Material básico da tubulação(*).
— Margem para corrosão adotada (ou revestimento).
— Tubos: Especificações de material, processos de fabricação, espessuras adotadas para os diversos diâmetros, sistemas de ligação adotados.
— Válvulas: Tipos empregados para bloqueio (gaveta, macho, esfera etc.), para regulagem (globo, agulha, diafragma etc.), para retenção etc., com indicações completas dos materiais de construção, da carcaça e do mecanismo interno, processos de fabricação, tipos de extremidades; classe de pressão nominal, tipo de castelo, de movimentação de haste, tipo de mecanismo interno etc.
— Flanges e conexões flangeados: Tipo, especificação de material, processos de fabricação aceitáveis, classe de pressão nominal e faceamento.
— Conexões para solda ou rosqueadas: Tipo, especificação de material, processo de fabricação, classe de pressão nominal, espessura e tipo de extremidades.
— Parafusos, ou estojos, e porcas: Tipo e especificação de material.
— Juntas: Tipo, espessura e especificação de material.

Note-se que os tipos, materiais, classes de pressão, espessuras etc., tanto dos tubos como também das válvulas e das conexões, quase nunca são os mesmos para toda a série de diâmetros nominais, em uma mesma especificação.

As especificações podem conter ainda, a critério do projetista e quando for o caso, entre outras, as seguintes informações adicionais: processos de soldagem e elétrodos usados, inspeção e tratamentos térmicos exigidos ou recomendados, revestimentos externos ou internos, casos de emprego de curvas em gomos, tipos de derivações soldadas (para cada combinação de diâmetros de tubo-tronco e do ramal), tipos de drenos e de respiros, necessidade ou não de isolamento térmico e/ou de aquecimento. Deve constar também na especificação a norma adotada para projeto e cálculo da tubulação (ASME. B.31.3, por exemplo), para permitir a verificação das espessuras recomendadas, bem como as normas dimensionais de tubos, válvulas e outros acessórios de tubulação.

A espessura necessária para uma tubulação independe completamente do seu comprimento, da sua configuração e do seu detalhamento, dependendo somente do diâmetro do tubo, da pressão do fluido, e da tensão admissível do material, que, por sua vez, depende do tipo de material e da temperatura. Por esse motivo, é possível calcular previamente a espessura para várias combinações de diâmetros, pressões, temperaturas e tipo de material: são esses valores da espessura que constam nas "Especificações de Material de Tubulação" (veja Item 14.1 deste livro e Item 4.1 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo").

Para o caso das válvulas é usual, nas especificações, a adoção de uma sigla para cada tipo de válvula, e a citação, como exemplo, do nome e modelo de um fabricante comercial, seguido da expressão "ou equivalente", para indicar que válvulas semelhantes de outros fabricantes também satisfazem. As siglas adotadas para as válvulas (VG-2, VB-4, VR-15 etc. nos exemplos a seguir), que devem ter uma certa ordem lógica, servem não só para indicar de uma forma abreviada a descrição completa da válvula, como também para facilitar a identificação, a requisição e a estocagem desses materiais.

As Especificações de Material de Tubulação podem ser feitas em forma descritiva, como mostrado no Item 8.14, ou em forma tabular abreviada (para facilitar o arquivamento), como mostrado na Fig. 8.1, que é a repetição da "Especificação D", do Item 8.14.

As organizações de projeto, e também alguns usuários importantes de tubulações, costumam ter uma coleção de especificações já preparada previamente. Para qualquer novo projeto ou obra, será necessário elaborar novas especificações somente para os serviços que não possam ser enquadrados economicamente em nenhuma das especificações existentes.

8.14 Exemplos de Especificações de Material de Tubulação

Damos a seguir, como exemplo, duas Especificações de Material de Tubulação, para dois casos típicos.

1. Especificação "D"

Classe de fluidos:

— Hidrocarbonetos líquidos pouco corrosivos.

Faixa de variação de pressão e temperatura:

— 4 MPa a 100°C.
— 2,8 MPa a 400°C.

Material básico: Aço-carbono.
Norma de projeto: ASME B. 31.3
Classe de pressão nominal (ASME. B. 16.5): 300#.
Margem para corrosão: 1,2 mm.

Tubos:

— 1/2″ a 1 ½″: Aço-carbono, preto, sem costura, ASTM A-106 Gr.A, série 80, pontas lisas.
— 2″ a 10″: Aço-carbono, preto, sem costura, ASTM A53 Gr.A, ou API 5L Gr.A, série 40, pontas chanfradas.
— 12″ a 14″: Aço-carbono, preto, sem costura ou com costura, ASTM A53 Gr.B, ou API 5L Gr.B, 3/8″ de espessura, pontas chanfradas.
— 16″ a 24″: Idem, idem, espessura a calcular de acordo com a pressão e temperatura (mínimo 3/8″), pontas chanfradas.

(*) Denomina-se "material básico da tubulação" o material (ou materiais) dos tubos.

CLASSE DE FLUIDOS			HIDROCARB. LÍQUIDOS POUCO CORROSIVOS									ESPECIFICAÇÃO							"D"
FAIXA DE VARIAÇÃO DE PRESSÕES E TEMPERATURAS		MPa	4,0	3,8	3,5	2,8						CLASSE DE PRESSÃO NOMINAL							
		°C	100	200	300	400 max.						ANSI 300# FR							
MATERIAL BÁSICO			AÇO-CARBONO									MARGEM P/CORROSÃO							1.2mm
PEÇAS			DIÂMETROS NOMINAIS (Pol.)																
			1/2	3/4	1	1½	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	
TUBOS	MATERIAL		ASTMA. 106 Gr. A				ASTMA. 53Gr. A(*)						ASTMA. 53 Gr. B(**)						
	FABRICAÇÃO		PRETO, SEM COSTURA										PRETO, COM OU SEM COSTURA						
	ESPESSURA		Série 80				Série 40						3/8"	CALCULAR (3/8" Min.)					
	EXTREMIDADES		PONTAS LISAS				PONTAS CHANFRADAS												
FLANGES	MATERIAL						ASTMA. 181 Gr. I												
	TIPO, FACE, CLASSE DE PRESSÃO						PESCOÇO FACE DE RESSALTO ANSI 300 #												
	ESPESSURA						DE ACORDO COM O TUBO												
CONEXÕES	MATERIAL		ASTMA. 234 Gr. A				ASTMA. 234 Gr. B												
	EXTREMIDADES		SOLDA DE ENCAIXE				SOLDA DE TOPO												
	ESPESSURA OU CLASSE DE PRESSÃO		3000#				DE ACORDO COM O TUBO												
VÁLVULAS	CARACTERÍSTICAS GERAIS	MATERIAL DA CARCAÇA	ASTMA. 105 Gr. II				ASTMA. 216 Gr. WCB												
		MATERIAL DO MECANISMO INTERNO	ASTMA. 182 Gr. F 6																
		EXTREMIDADES E CLASSE DE PRESSÃO	SOLDA DE ENCAIXE 600#				FLANGES 300# FR												
	VÁLVULA GAVETA	GAVETA E SEDE	GAVETA MACIÇA, SEDES REMOVÍVEIS																
		MOVIMENTAÇÃO DA HASTE	GRAMPO E ROSCA EXTERNA																
		CASTELO	UNIÃO				APARAFUSADO												
		SIGLA E MODELO	V-G2, CRANE 3602 X				V-G5, CRANE 33 X												
	VÁLV. MACHO	TIPO																	
		SIGLA E MODELO																	
	VÁLVULAS GLOBO	TAMPÃO E SEDE	TAMPÃO MACIÇO, SEDE REMOVÍVEL																
		MOVIMENTAÇÃO DA HASTE	GRAMPO E ROSCA EXTERNA																
		CASTELO	UNIÃO				APARAFUSADO												
		SIGLA E MODELO	V-B2 VOGT-SW-803-7				V-B4 CRANE 151X												
	VÁVULAS DE RETENÇÃO	TIPO	ESFERA, SEDE REMOVÍVEL				PORTINHOLA, SEDE REMOVÍVEL						PORTINHOLA BALANCEADA SEDE REMOVÍVEL						
		CASTELO	UNIÃO				APARAFUSADO												
		SIGLA E MODELO	V-R2 VOGT-SW-4853-7				VR-5, CRANE 159 X						VR 8-CHAPMAN 323 A						
JUNTAS		TIPO					SEMIMETÁLICA, EM ESPIRAL, COM ENCHIMENTO DE AMIANTO												
		ESPESSURA					9/64"												
PARAFUSOS		TIPO					ESTOJOS C/2 PORCAS HEXAGONAIS												
		MATERIAL					ESTOJOS: ASTMA.193 Gr. B7, PORCAS: ASTMA.194												
OBSERVAÇÕES			(*) PODEM SER EMPREGADOS TUBOS API.5L Gr. A (**) PODEM SER TAMBÉM EMPREGADOS TUBOS API.5L Gr. B																

Fig. 8.1

Flanges:

— 2″ a 24″: Flange de pescoço ou flange do tipo "anel", face de ressalto, classe 300#, de acordo com a norma ASME. B. 16.5, aço forjado ASTM A181 Gr.I, espessura de acordo com o tubo.

Conexões:

— 1/2″ a 1½″: Extremos para solda de encaixe, classe 3.000#, aço forjado ASTM A181 Gr.I.
— 2″ a 24″: Extremos para solda de topo, espessura de acordo com o tubo, aço ASTM A234 Gr. WPB.

Características gerais a todas as válvulas:

— 1/2″ a 1½″: Válvulas de aço forjado ASTM A105 Gr.II, classe 600#, extremos para solda de encaixe, mecanismo interno de aço inoxidável ASTM A182 Gr.F-6.
— 2″ a 24″: Válvulas de aço fundido ASTM A216 Gr.WCB, extremos com flanges de face com ressalto 300# (ASME B.16.5), mecanismo interno de aço inoxidável ASTM A182 Gr.F-6.

Válvulas de bloqueio (Válvulas de gaveta):

— 1/2″ a 1½″: Gaveta maciça, sedes removíveis, haste com sobrecastelo e rosca externa, castelo de união, modelo "Crane" 3.602 X, ou equivalente (Válvula VG-2).
— 2″ a 24″: Idem, idem, castelo aparafusado, modelo "Crane" 33 X, ou equivalente (Válvula VG-5).

Válvulas de globo:

— 1/2″ a 1½″: Tampão maciço, sede removível, haste com sobrecastelo e rosca externa, castelo de união, modelo "Vogt" SW-803-7, ou equivalente (Válvula VB-2).
— 2″ a 8″: Idem, idem, castelo aparafusado, modelo "Crane" 151 X, ou equivalente (Válvula VB-4).

Válvulas de retenção:

— 1/2″ a 1½″: Válvula tipo esfera, sede removível, castelo de união, modelo "Vogt" SW-4853-7, ou equivalente (Válvula VR-2).
— 2″ a 12″: Válvula de portinhola, sede removível, castelo aparafusado, modelo "Crane" 159 X, ou equivalente (Válvula VR-5).
— 14″ a 24″: Válvula de portinhola balanceada, sede removível, castelo aparafusado, modelo "Chapman" 323-A, ou equivalente (Válvula VR-8).

Juntas:

— Junta semimetálica em espiral, com enchimento de amianto.

Parafusos e porcas:

— Estojos de aços-liga ASTM A193 Gr.B-7, com 2 porcas hexagonais de aço ASTM A194.CL-2H.

2. Especificação "C"

Classe de fluidos:

— Água doce, ar comprimido, vapor exausto de baixa pressão, condensado.

Faixa de variação de pressão e temperatura:

— 0,85 MPa a 180°C.
— 1,20 MPa a 40°C.

Material básico: Aço-carbono.
Norma de projeto: ASME B. 31.3.

Classe de pressão nominal (ASME B-16.5): 125#.

Margem para corrosão: 1,2 mm.

Tubos:

— 1/2″ a 2″: Aço-carbono, preto, com ou sem costura ASTM A53 Gr.A ou API5L Gr.A série 80, extremidades rosqueadas com luvas.
— 3″ a 10″: Aço-carbono, preto, com ou sem costura, ASTM A53 Gr.A, ou API5L Gr.A, série 40, pontas chanfradas.
— 12″ a 24″: Idem, idem, espessura de 3/8″, pontas chanfradas.

Flanges:

— 2″ a 24″: Flanges de pescoço ou sobreposto, face plana, classe 150# (ASME B.16.5), aço forjado ASTM A181 Gr.I, espessura de acordo com o tubo.

Conexões:

— 1/2″ a 2″: Extremidades rosqueadas, classe 3.000#, de aço forjado ASTM A181 Gr. I.
— 3″ a 24″: Extremidades para solda de topo, espessura de acordo com o tubo, aço ASTM A234 Gr.WPB.

Características gerais a todas as válvulas:

— 1/2″ a 2″: Válvulas de latão, classe 125#, extremos rosqueados, mecanismo interno de latão.
— 3″ a 24″: Válvulas de ferro fundido ASTM A126, classe 125#, extremos com flanges de face plana, mecanismo interno de latão.

Válvulas de bloqueio (Válvulas de gaveta):

— 1/2″ a 2″: Gaveta maciça, haste com rosca interna, castelo rosqueado, modelo "Crane" 428, ou equivalente (Válvula VG-12).
— 3″ a 24″: Gaveta maciça, haste com sobrecastelo e rosca externa, castelo aparafusado, modelo "Crane" 465 1/2, ou equivalente (Válvula VG-15).

Válvulas de globo:

— 1/2″ a 2″: Tampão maciço, haste com rosca interna, castelo rosqueado modelo "Crane" 1, ou equivalente (Válvula VB-12).
— 3″ a 8″: Tampão maciço, haste com sobrecastelo e rosca externa, castelo aparafusado, modelo "Crane" 351, ou equivalente (Válvula VB-14).

Válvulas de retenção:

— 1/2″ a 2″: Válvula de levantamento, castelo rosqueado, modelo "Crane" 20, ou equivalente (Válvula VR-12).
— 3″ a 24″: Válvula de portinhola, castelo aparafusado, modelo "Crane" 373, ou equivalente (Válvula VR-15).

Juntas:

— Junta plana de papelão hidráulico, de acordo com a norma EB-216, com 1,5 mm de espessura, para flanges de face plana.

Parafusos e porcas:

— Parafuso de máquina, aço-carbono ASTM A307, com porca de aço-carbono quadrada ou hexagonal.

9

Disposição das Construções em uma Instalação Industrial

9.1 A Disposição Geral das Construções em Relação ao Projeto de Tubulações

Por serem as tubulações os elementos físicos de ligação de todos os pontos entre os quais se dá o escoamento dos fluidos, o projeto e traçado das tubulações estão sempre intimamente ligados à disposição que tenha no terreno as diversas construções e equipamentos em uma instalação industrial. Essa interdependência é principalmente importante nas indústrias de processo, onde as tubulações têm a finalidade essencial de servir como os elementos de ligação entre os diversos equipamentos de processo: vasos de pressão, reatores, torres, tanques, permutadores de calor, bombas etc. Em qualquer instalação industrial a rede completa de tubulações abrange em geral toda área ou a maior parte da área do terreno ocupado pelas construções.

Por essa razão, antes de tratarmos especificamente do projeto de tubulações — o que será feito nos próximos capítulos — vamos ver algumas regras e recomendações sobre a disposição das construções e equipamentos. Como evidentemente essa disposição depende da natureza da instalação industrial e do terreno disponível, que são diferentes para cada caso, só se podem dar recomendações de caráter geral. Não vamos também entrar em muitos detalhes sobre esse assunto, que fugiriam ao âmbito deste livro.

O estudo da disposição geral das áreas, construções e equipamentos no terreno, isso é, o estudo do "lay-out" de uma instalação industrial, é uma das etapas mais importantes e decisivas do projeto global. É obrigatoriamente um trabalho de equipe, entregue sempre a pessoas categorizadas, de grande experiência, de diversas especialidades, e geralmente coordenado pelo especialista de tubulações. Desse estudo dependerão primordialmente a eficiência da instalação, o seu custo inicial e suas condições econômicas de funcionamento, bem como suas condições de segurança e sua maior ou menor facilidade de operação e de manutenção.

Antes de ser iniciado esse estudo, é indispensável que sejam perfeitamente conhecidas e estudadas todas as leis, regulamentos, normas etc. — quer de autoridades públicas, quer de organizações particulares ou do próprio usuário —, dispondo sobre aspectos de segurança, controle de efluentes, controle de ruídos, higiene do trabalho etc.

Exceto no caso de instalações muito simples, dificilmente se chega a um arranjo satisfatório na primeira tentativa: em geral é necessário o estudo de várias alternativas, até ser escolhida a melhor, depois de um cuidadoso julgamento comparando-se os diversos aspectos de custo, de facilidades operacionais, de segurança etc. Note-se que o desenvolvimento posterior do projeto de tubulações e dos demais projetos de outras especialidades de engenharia (veja Item 14.1) freqüentemente obriga a que sejam feitas diversas modificações de maior ou menor vulto na disposição de construções, equipamentos etc. Assim, a configuração definitiva, em detalhe, dessa disposição, só se tem, em geral, na fase final do projeto completo da instalação industrial.

9.2 Disposição Geral das Áreas e Construções no Terreno

Damos a seguir a seqüência usual das etapas para o estudo dessa disposição geral, e algumas recomendações relativas a esse estudo.

Na maioria das instalações os vasos, equipamentos e tubulações são instalados a céu aberto (instalações "outdoors"), isto é, não no interior de prédios ou galpões e, por isso, as recomendações abaixo referem-se em particular a instalações desse tipo.

Embora as recomendações explicadas a seguir refiram-se especificamente ao projeto de instalações novas, valem também para o projeto de reformas ou ampliações de instalações já existentes, devendo, nesses casos, serem atendidas na medida do possível, levando-se em conta as limitações impostas pelas construções existentes.

1. *Listagem das atividades básicas* — A primeira etapa no estudo da disposição geral em uma instalação industrial é a listagem de todas as atividades que devam existir nessa indústria, tanto as atividades-fim, como as atividades auxiliares e de apoio. Não há, em geral, necessidade de detalhar minuciosamente essas atividades, bastando relacionar as atividades básicas; é, porém, importante que nada seja esquecido. Como atividades básicas em uma indústria típica de processo, temos, por exemplo:

— Unidades de processo (quantas forem).
— Áreas de armazenagem de matérias-primas, de produtos intermediários e de produtos finais.
— Utilidades: casa de força, subestações elétricas, tratamento de água e de efluentes, torre de resfriamento etc.
— Áreas de recebimento, de manuseio de matérias-primas e de despacho de produtos finais.
— Oficinas, almoxarifados, laboratório, casas de controle etc.
— Escritório e outros prédios administrativos.

2. *Cálculo das áreas para cada atividade* — Feita essa listagem, procura-se avaliar as áreas necessárias para cada atividade, tão precisamente quanto possível. Quando se calculam essas áreas, é importante que sejam avaliadas também as possibilidades e probabilidades de ampliações de cada uma das atividades da indústria, de forma que possam ser antecipadamente reservados espaços para esse fim.

3. *Diagrama de bloco de circulação de materiais* — Deve ser feito, em seguida, um diagrama de bloco, mostrando as correntes principais de circulação de materiais entre as diversas áreas de recebimento, armazenagem, processamento, despacho etc. Para cada corrente, devem ser indicadas: natureza do material, vazão, pressão e temperatura. Esse diagrama de bloco é baseado diretamente no projeto de processo, descrito no Item 14.1.

4. *Direções ortogonais básicas* — Para cada projeto escolhem-se duas direções ortogonais que serão denominadas de Norte-Sul de projeto e Leste-Oeste de projeto.

Essas duas direções servirão para orientar todo o traçado das ruas, avenidas, limites de áreas de processamento e de armazenagem, diques, valas de drenagem etc. Servirão também para dar os alinhamentos dos prédios e bases de equipamentos, orientar todo o traçado das tubulações horizontais (como será visto no Item 10.2), e de um modo geral para orientar todas as construções que devam existir no terreno.

As duas direções de projeto só por mera coincidência concordarão com as direções Norte-Sul e Leste-Oeste geográficas; são direções escolhidas arbitrariamente de maneira que seja possível orientar as construções. Geralmente uma dessas direções costuma ser paralela ao lado maior, ao eixo principal, ou ao lado mais importante do terreno, ou ainda paralela ou perpendicular à estrada de acesso. Em terrenos retangulares, ou com pelo menos dois lados ortogonais, as direções de projeto costumam ser paralelas aos lados ortogonais.

A Fig. 9.1 mostra a disposição geral das construções em uma instalação típica de processo.

5. *Disposição geral das áreas* — Avaliadas as áreas necessárias devemos agora dispor essas áreas no terreno, obedecendo, nessa disposição, às orientações dadas pelas direções ortogonais de projeto. A disposição relativa das diversas áreas no terreno depende essencialmente do funcionamento geral da instalação; essa disposição deve ter em vista a interdependência entre as unidades de processo, áreas de armazenagem e demais construções, e a seqüência de escoamento dos materiais, visando às facilidades operacionais e à diminuição tanto do comprimento global das tubulações como da movimentação dos materiais e das pessoas.

Para o estudo dos trajetos mais curtos de movimentação de materiais é que se torna indispensável o diagrama de bloco anteriormente referido.

Exceto em instalações muito pequenas, tem-se geralmente um grande número de interligações, representando fluxos de materiais entre as diversas áreas de processo, armazenagem, recebimento e despacho, sendo assim impossível fazer-se o arranjo das áreas de forma a minimizar todos os fluxos de materiais. Deve-se então procurar, de preferência, minimizar as interligações atendendo às seguintes prioridades:

— Fluxos contínuos, sobre os de caráter intermitente ou eventual.
— Fluxos de grande vazão.
— Fluxos em grandes pressões e/ou altas temperaturas.
— Tubulações de materiais de alto custo.

Como regra geral, os prédios administrativos (administração, restaurante, posto médico etc.) devem ficar próximos à estrada de acesso. Por motivos de segurança, para minimizar a possibilidade e as conseqüências de um incêndio ou outros acidentes, deve-ser ter também:

— Unidades de processo na parte central do terreno.
— Áreas de armazenagem de inflamáveis distantes dos vizinhos, principalmente de ruas e estradas externas.

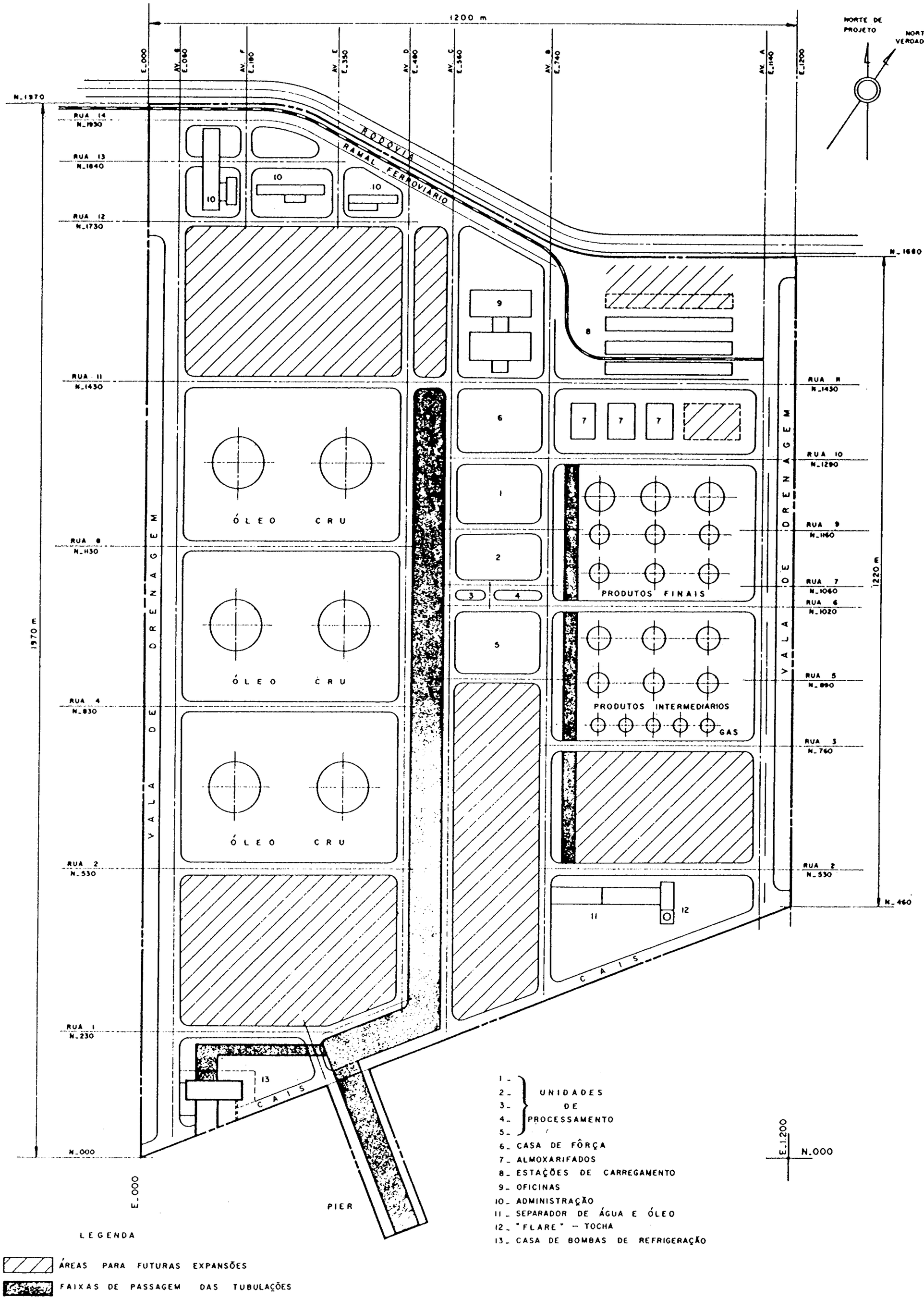


Fig. 9.1 Planta de Arranjo Geral.

— Áreas de grande risco (tochas de queima de gases, armazenagem de gases liquefeitos etc.) o mais distante possível de vizinhos e de outras construções.
— Subestações e outras instalações elétricas, tanto quanto possível fora de áreas sujeitas a atmosferas perigosas ou a vazamentos de produtos inflamáveis ou explosivos ("áreas classificadas", como são denominadas).

As instalações ou locais de grande ruído também devem ficar devidamente afastadas.

Como já fizemos notar aqui, em cada caso devem ser perfeitamente conhecidos e obedecidos todos os regulamentos, normas etc. que estabeleçam distâncias mínimas obrigatórias entre construções e limites do terreno, ou entre construções entre si, bem como quaisquer outras exigências que interfiram na disposição de construções e equipamentos, por motivos de segurança, de controle de poluição, ou por outros motivos. Na Tabela 9.1 estão mostradas, a título de exemplo, algumas dessas distâncias de segurança, segundo a prática corrente.

Os armazéns, oficinas, almoxarifados etc., devem ficar juntos das estradas de acesso (rodoviário ou ferroviário), ou do cais marítimo ou fluvial, quando for o caso. As instalações de recebimento e de despacho dos materiais devem evidentemente ficar próximas dos locais de chegada e de saída dos referidos materiais. Em terrenos não planos é em geral econômico aproveitar as diferenças de nível para o escoamento de líquidos por gravidade.

No estudo da disposição geral das áreas devem ser sempre considerados ainda os seguintes pontos:

— Natureza do subsolo do terreno, procurando-se colocar as construções mais pesadas, ou mais importantes, onde o subsolo for melhor, com a finalidade de reduzir o custo das fundações. Para a correta decisão sobre esse assunto, é indispensável a execução prévia de uma malha de sondagens, principalmente tratando-se de terrenos de grande extensão.
— Topografia do terreno, de forma a permitir o melhor aproveitamento e se possível, o escoamento por gravidade e com o mínimo de movimento de terras.
— Locais de abastecimento de água, e de despejo de águas, esgotos e outros efluentes, para permitir que possa ser adotado um traçado econômico e funcional para as redes de águas e de drenagem.
— Local de abastecimento de energia elétrica, por uma razão semelhante à descrita acima.
— Direção dos ventos predominantes, por motivo de segurança e para diminuir os possíveis efeitos da poluição atmosférica.

A disposição geral das áreas deve também atender à otimização do traçado das redes de utilidades (água — de vários tipos —, vapor, ar comprimido, eletricidade, coleta de efluentes etc.), considerando-se os aspectos de custo, perdas de carga, e outros, tendo em vista os vários pontos que devam ser atendidos por essas redes.

Não devem ser esquecidas as áreas reservadas para futuras ampliações ou novas construções.

Existem freqüentemente construções que têm localização obrigatória, como é o caso das casas de bombas de água, que devem ficar junto ao mar, rio ou canal.

6. *Traçado de ruas para subdivisão das áreas* — A etapa seguinte será a subdivisão de cada uma das grandes áreas em quadras, por meio de ruas e avenidas que seguem as direções ortogonais de projeto. Essa subdivisão tem por finalidade facilitar o aproveitamento das diversas áreas e permitir o acesso de pessoas e de veículos a todos os pontos do terreno. Cada quadra será destinada a uma ou mais unidades de processo, a uma área de armazenagem, a um grupo de prédios etc. As quadras de unidades de processo devem ter ruas de acessso por todos os lados.

Na Tabela 9.1 estão também mostrados alguns valores mínimos usuais de larguras e de raios de curva de ruas.

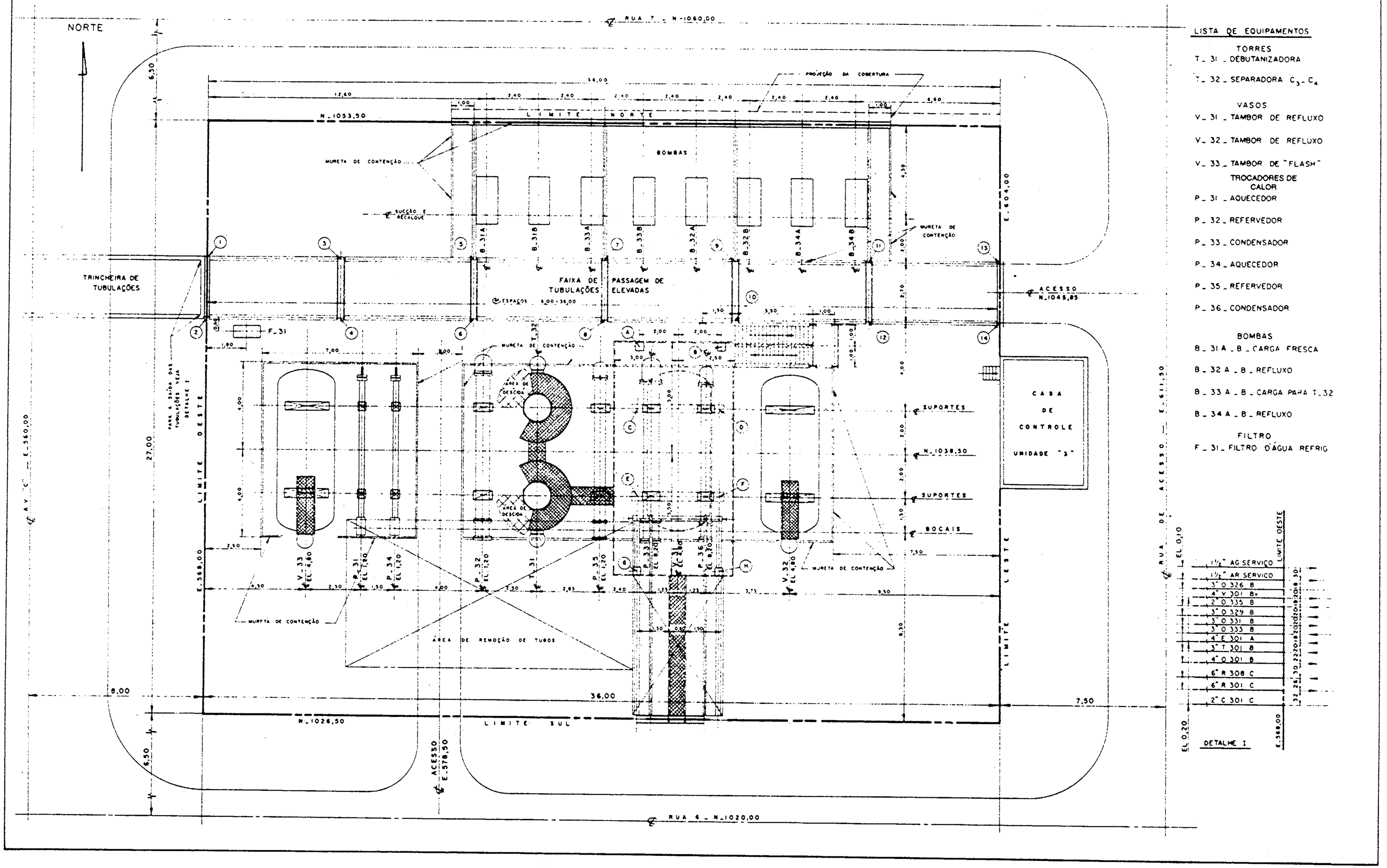
Quando se estuda o traçado das ruas deve-se prestar atenção para que qualquer ponto do terreno tenha sempre, no mínimo, dois caminhos de acesso diferentes, para evitar que possa ficar bloqueado em caso de algum acidente. Essa observação é de importância essencial em indústrias ou em locais onde exista um risco potencial elevado de incêndio ou de explosão.

7. *Faixas de passagem de tubulações* — A etapa seguinte é fazer-se o traçado e a reserva de espaço para as faixas gerais de passagem de tubulações, que devem ficar na parte central do terreno, adjacente às áreas de processo, de utilidades e de armazenagem de fluidos, tendo em vista

Tabela 9.1

Larguras, alturas e distâncias, em metros

Distâncias de segurança: — Unidades de processo: Distância até instalações de utilidades: 50 (mín.) Idem, até limites do terreno: 180 (mín.) Idem, até prédios administrativos: 120 (mín.) — Armazenagem de gases liquefeitos: Distância até unidades de processo: 80 (mín.) Idem, até limites do terreno: 100 (mín.) Idem, até prédios administrativos: 100 (mín.) — Tochas de queima de gases: Distância até unidades de processo: 120 (mín.) Idem, até limites do terreno: 120 (mín.)	— Ruas externas: Largura: 7 (mín.) Altura livre: 6 (mín.) Raio interno (esquinas e curvas): 7 (mín.) Acostamento para taludes ou declives: 1 (mín.) Distância da margem até limites de unidades: 10 Idem, até a linha de centro de trincheiras de tubulações (tubovias): 15 (máx.)



LISTA DE EQUIPAMENTOS

TORRES

T-31 - DEBUTANIZADORA

T-32 - SEPARADORA C_3-C_4

VASOS

V-31 - TAMBOR DE REFLUXO

V-32 - TAMBOR DE REFLUXO

V-33 - TAMBOR DE "FLASH"

TROCADORES DE CALOR

P-31 - AQUECEDOR

P-32 - REFERVEDOR

P-33 - CONDENSADOR

P-34 - AQUECEDOR

P-35 - REFERVEDOR

P-36 - CONDENSADOR

BOMBAS

B-31 A - B - CARGA FRESCA

B-32 A - B - REFLUXO

B-33 A - B - CARGA PARA T-32

B-34 A - B - REFLUXO

FILTRO

F-31 - FILTRO D'ÁGUA REFRIG

Fig. 9.2 — PLANTA DE ARRANJO DE UNIDADE

o menor percurso global e o atendimento aos diversos pontos onde as tubulações devam chegar. Essas faixas de passagem poderão ter as tubulações pouco acima do nível do solo, ou, mais freqüentemente, as tubulações em trincheiras (pipe-way — tubovias), ou com as tubulações elevadas (pipe-rack — pontes de tubulação), como será referido nos Itens 10.5 e 10.6, no próximo capítulo. Em qualquer caso, as faixas de passagem de tubulações devem ser paralelas e adjacentes a pelo menos uma rua ou avenida; quando a largura da faixa de passagem for superior a 15 m, deve haver ruas de acesso em ambos os lados (veja Item 10.6). É sempre necessário fazer-se uma avaliação prévia da largura que devem ter essas faixas, mesmo porque, em instalações grandes, essas larguras podem ser consideráveis. Essa avaliação é feita em função da quantidade máxima de tubulações que devam passar, considerando-se os seus diâmetros e espaçamentos mínimos entre tubos paralelos, como será visto no Cap. 10; recomenda-se deixar sempre uma folga (10 a 20%) para permitir futuras ampliações.

8. *Fixação dos níveis de projeto* — O estabelecimento dos valores que devem ser adotados para os níveis de elevação das diversas áreas é uma das etapas mais importantes do projeto global. Esses níveis são fixados preliminarmente em função da terraplanagem necessária, de forma a minimizar o movimento de terras, e compensar os aterros com os cortes; é o que se denomina de determinação da "cota econômica". Em seguida, faz-se o estudo da drenagem pluvial geral do terreno, verificando-se e corrigindo-se, se necessário, os níveis de projeto das ruas, áreas pavimentadas, pisos de unidades de processo, bacias de tanques etc., para que a rede de drenagem pluvial tenha os declives necessários. Deve ser lembrado que a drenagem pluvial funciona por gravidade, e por isso deve ter uma declividade contínua. A rede de drenagem pode ser em canaletas abertas ou com tubulações subterrâneas. Em qualquer caso, os níveis do terreno acabado devem ser fixados de forma que a rede tenha declividade suficiente e as profundidades de valetas ou de tubulações sejam razoáveis. Exceto quando se tratar de um terreno muito extenso, esse estudo deve ser feito levando-se em conta também a topografia dos terrenos vizinhos, para prevenir a possibilidade de alagamento do terreno da indústria por falha ou deficiência da drenagem dos terrenos vizinhos ou das vias públicas. Deve ser lembrado que o alagamento acidental de uma indústria, por drenagem deficiente, própria ou alheia, pode causar sérios prejuízos por interrupção de funcionamento, perda de produtos, danos em materiais e equipamentos, ou até mesmo desastres graves.

Deve-se ainda verificar se os níveis que foram estabelecidos atendem às necessidades das linhas de sucção de bombas. Essa verificação é particularmente importante quando se tem linhas de grande comprimento, nas quais a sucção é às vezes bastante difícil.

O terreno reservado para cada unidade ou para cada área de armazenagem deve ser sempre em nível, sendo as diferenças de nível de uma área para outra, quando necessário, obtidas em degraus, com talude ou muro de arrimo nos limites das áreas, e não por inclinação do terreno. As ruas poderão ser inclinadas, com um declive máximo de 5%.

9.3 Disposição Dentro das Áreas de Processo

Damos a seguir algumas normas gerais para o estudo da disposição das construções e dos equipamentos dentro da área de uma unidade típica de processo.

Todas essas normas podem ser observadas nas Figs. 9.2 a 9.4, que mostram em planta e em elevação uma pequena unidade de processo, como também na Fig 9.5, que é um corte transversal típico de uma grande unidade de processo.

1. *Listagem dos equipamentos* — Com base no projeto de processo (veja Item 14.1) faz-se a listagem de todos os vasos e equipamentos que figuram em cada unidade de processo. Esses equipamentos podem em geral ser enquadrados nas seguintes classes gerais, das quais as três primeiras quase sempre existem:

- — Equipamentos principais. São os de maior porte, tais como torres de destilação e fracionamento, reatores diversos, tanques de armazenagem e vasos de pressão em geral(*); costumam ser em pequeno número, geralmente não mais do que dez em cada unidade.
- — Trocadores de calor e vasos de pressão (*) de pequeno porte. São equipamentos de menores dimensões e geralmente em grande quantidade (com freqüência mais de 50 em uma unidade de processo).
- — Bombas. São máquinas em geral de pequeno ou médio porte e muito numerosas.
- — Fornos. Equipamentos de médio e grande porte, apresentando sempre risco elevado; em geral não mais de 2 ou 3 em cada unidade.
- — Resfriadores a ar. São equipamentos que ocupam muita área.
- — Compressores. Em geral equipamentos de grande porte e em pequeno número, 2 ou 3 no máximo em cada unidade de processo.

2. *Disposição dos equipamentos* — Os equipamentos devem ficar alinhados e orientados em uma mesma direção, formando filas paralelas. Os equipamentos grandes principais costumam ser colocados na parte central da área, alinhados em uma ou duas filas. As bocas de visita desses equipamentos devem estar voltadas para as ruas ou passagens de acesso. Entre as filas dos equipamentos principais (ou adjacentes à fila), reservam-se faixas de terreno com

(*)A expressão "vasos de pressão" inclui uma grande variedade de equipamentos, para diversas finalidades, tais como vasos de acumulação e de armazenagem, evaporadores, cristalizadores, decantadores, separadores, filtros etc.; da mesma forma, a expressão "trocadores de calor" inclui, além dos trocadores propriamente ditos, os condensadores, refervedores, resfriadores, aquecedores e outros aparelhos de troca de calor com casco e feixe tubular.

largura suficiente, que servirão para a passagem geral de tubulações, bem como para vias de acesso, como veremos no Item 3, a seguir. As faixas de passagem de tubulações — com as tubulações elevadas formando as "pontes de tubulações" — podem ter várias disposições geométricas, que dependerão da natureza e complexidade da unidade industrial, da localização das ruas adjacentes e dos pontos de entrada e saída das tubulações externas. A Fig. 9.6 mostra alguns exemplos de disposições típicas de pontes de tubulação.

Os trocadores de calor são usualmente dispostos nas mesmas filas formadas pelos equipamentos principais. Por motivo de economia de espaço ou por necessidade de operação (fluxo por gravidade, por exemplo), muitas vezes os trocadores são colocados superpostos, como os exemplos da Fig. 9.5. Para os trocadores que trabalham em série, é usual conectar diretamente o bocal de um com o de outro. Freqüentemente é também necessário dispor trocadores em posições elevadas, como mostram as Figs. 9.3 e 9.4. Qualquer que seja a sua localização, devem ficar com os carretéis preferencialmente alinhados, e sempre voltados para fora da unidade ou para as ruas internas de acesso, para que haja o espaço necessário para a desmontagem e remoção do feixe tubular.

Nas instalações onde existirem resfriadores a ar (air-coolers) é usual colocar esses equipamentos sobre as tubulações elevadas, nas faixas de passagem de tubulações, como se vê na Fig. 9.5. Essa disposição, além de facilitar o arranjo das tubulações para os resfriadores, leva a uma grande economia de espaço, devido à considerável superfície horizontal desses aparelhos. Os resfriadores a ar devem sempre ficar longe dos equipamentos que desprendam calor, tais como fornos, tanques ou vasos quentes não isolados etc. Não devem ser colocadas bombas para produtos inflamáveis embaixo dos resfriadores a ar.

Considerando-se a unidade de processo como um conjunto, a disposição relativa de todos os equipamentos, isto é, a localização de cada um em relação aos outros, deve evidentemente estar de acordo com o funcionamento da instalação; por isso, essa disposição depende primordialmente do fluxograma de processo da unidade (veja Item 13.3). Assim, procura-se dispor os equipamentos na sua seqüência no fluxo geral, colocando-se próximos entre si os equipamentos que sejam interligados. Entretanto, exceto em unidades muito simples, com poucas interligações, é quase sempre impossível conseguir-se a proximidade de todos os equipamentos interligados entre si. Colocam-se próximos então, de preferência, os equipamentos cujas interligações sejam de grande diâmetro, sejam linhas de sucção de bombas, ou devam, por exigência de serviço, ter trajetos curtos. Convém lembrar entretanto que, na grande maioria dos casos, não tem sentido prático aproximar demais os equipamentos, para encurtar as tubulações, porque as tubulações devem ter várias mudanças de direção por motivos de flexibilidade, como será visto no Item 10.2.4.

Os vasos de acumulação de produto de topo das torres de fracionamento, bem como os condensadores e os refervedores, devem ficar bem próximos da torre à qual estejam ligados, devendo as tubulações entre esses equipamentos ser o mais curtas possível.

Os equipamentos de grande risco potencial, como é o caso dos fornos, e de outros equipamentos com presença de chama aberta, devem ficar sempre no limite da área, longe dos demais equipamentos (respeitando-se as distâncias de segurança), e de forma que os ventos dominantes não conduzam as fumaças e gases provenientes do funcionamento — ou de vazamentos — de outros equipamentos para o local dos fornos. Sempre que possível, os fornos devem ter livre acesso por todos os lados.

As válvulas de controle devem ficar de preferência

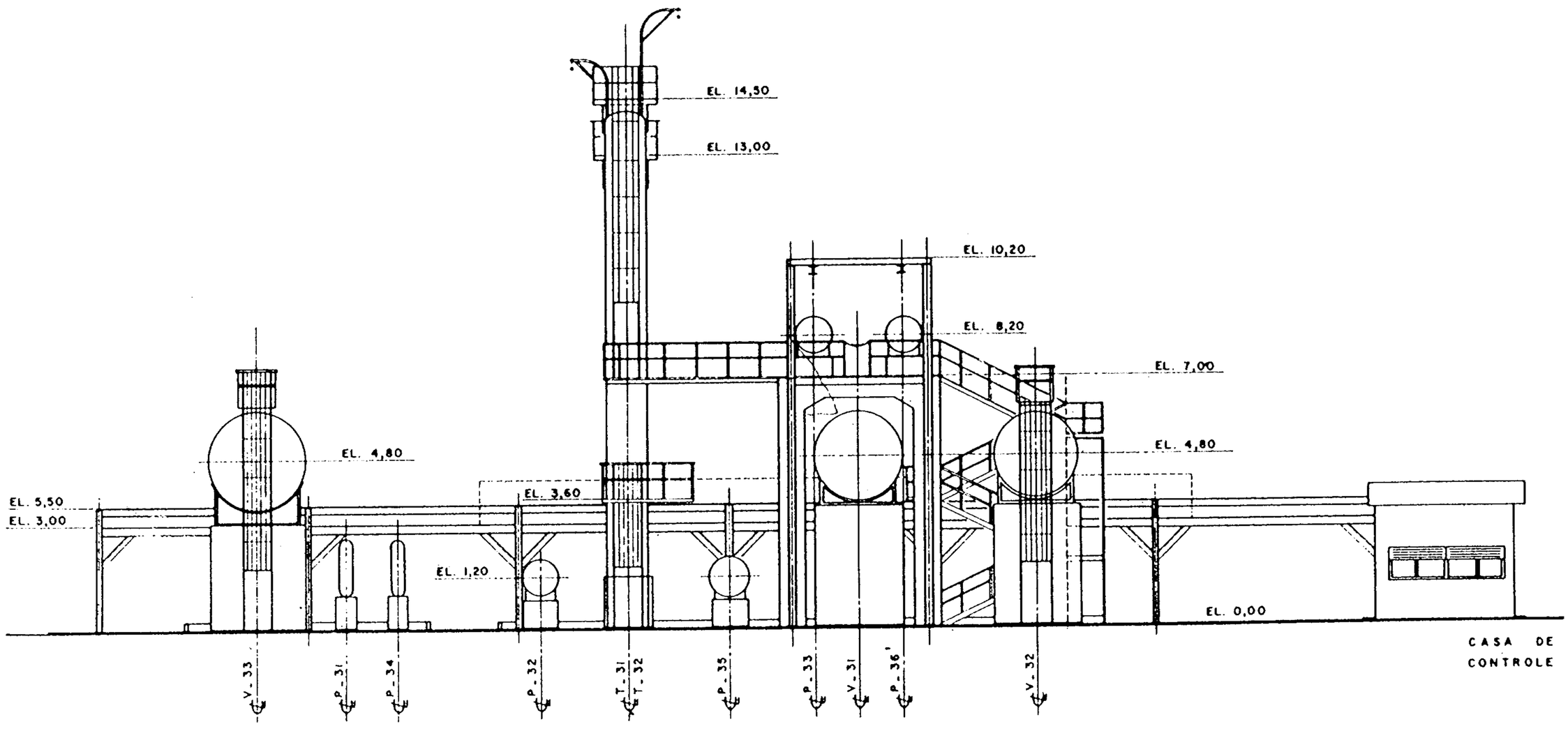


Fig. 9.3 Unidade "3" — Elevação olhando para o Norte.

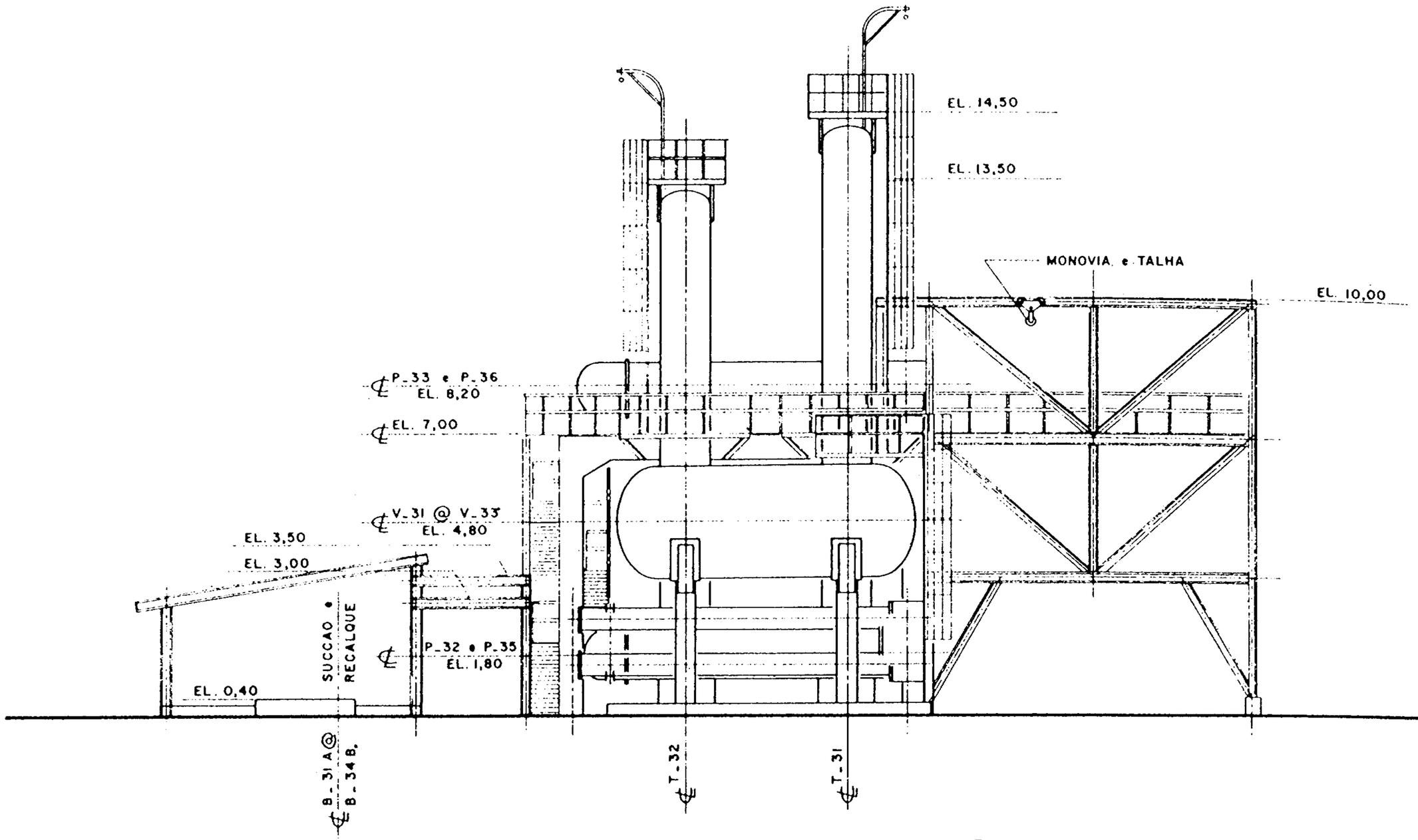


Fig. 9.4 Unidade "3" — Elevação olhando para Leste.

no nível do solo, junto às colunas, ou sobre plataformas, sempre em locais de fácil acesso.

As bombas são usualmente dispostas formando filas nas margens — ou parcialmente embaixo — das pontes de tubulação, como mostra a Fig. 9.5. Em instalações pequenas (como o exemplo das Figs. 9.2 a 9.4) as bombas podem ser agrupadas em um ou mais grupos, abrigadas em galpões cobertos. É importante que as linhas de sucção de bombas tenham o menor comprimento compatível com as necessidades de flexibilidade, devendo-se, tanto quanto possível, colocar cada

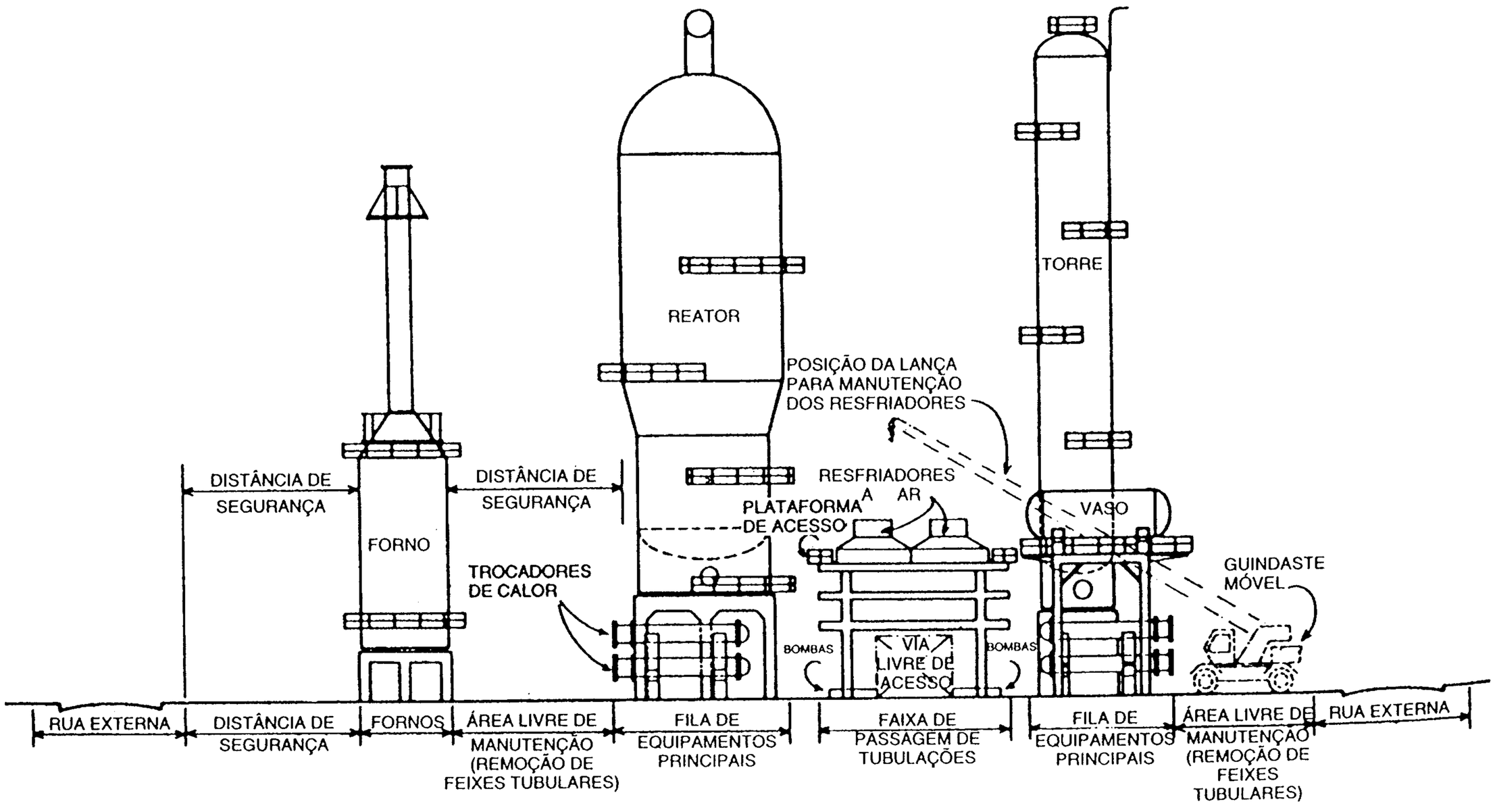


Fig. 9.5 Corte transversal em uma unidade de processo.

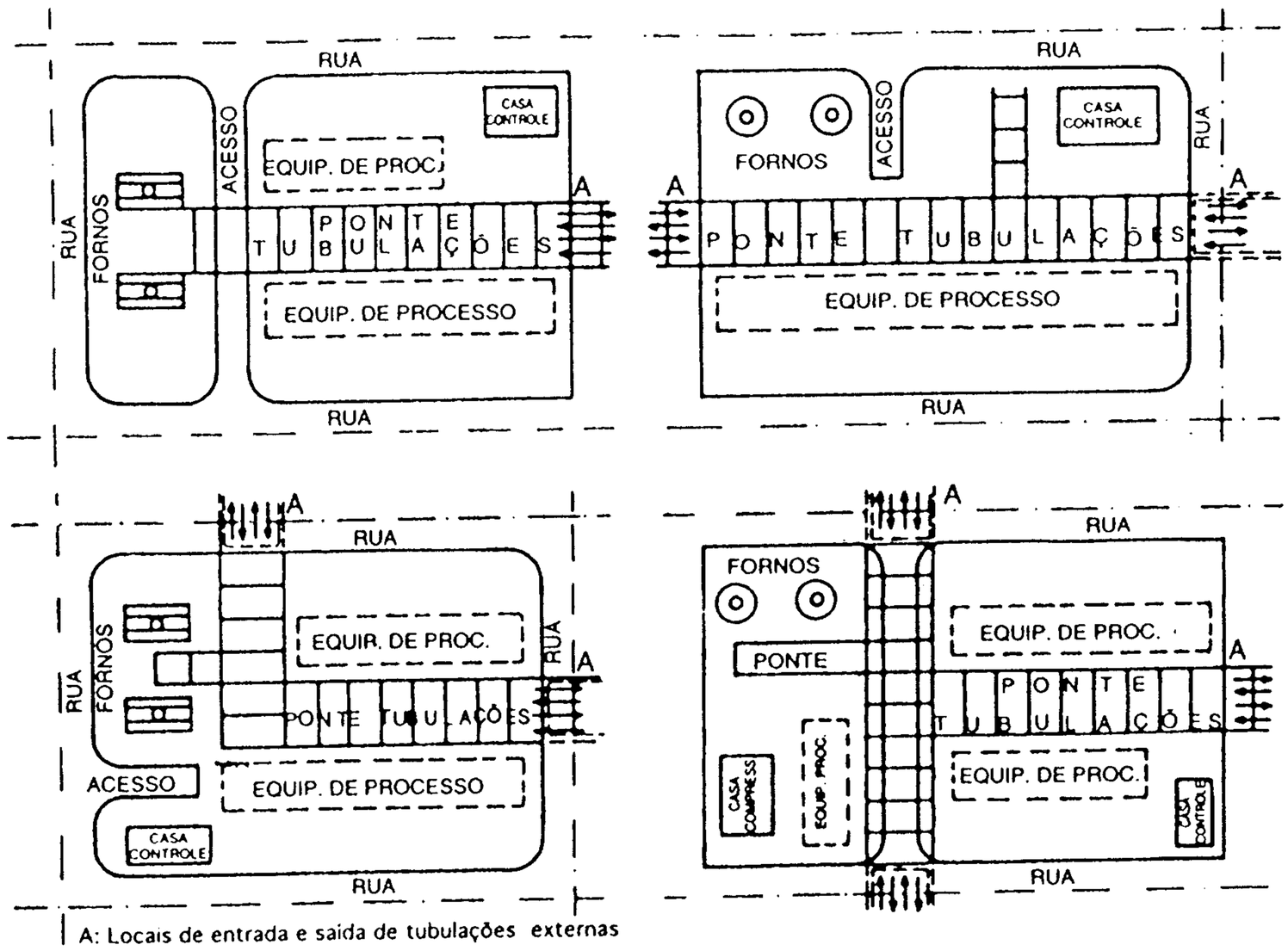


Fig. 9.6 Algumas disposições típicas de equipamentos e de pontes de tubulações em unidades de processo.

bomba próxima ao vaso ou reservatório de onde estão succionando. As bombas devem ser sempre colocadas com o acionador (motor elétrico ou turbina) voltado para fora da unidade ou para a via de acesso, com a finalidade de simplificar a rede elétrica ou de alimentação de vapor.

Os grandes compressores costumam ficar em galpões cobertos, para facilidade de operação e manutenção, situados na periferia da área da unidade.

Todos os galpões de cobertura devem ter altura suficiente que permita a desmontagem e remoção da máquina; no caso de máquinas pesadas é usual prever-se a instalação permanente de uma ponte rolante ou monovia.

Para economizar as estruturas de suporte, os equipamentos que tenham de ficar em posições elevadas (veja Item 3, a seguir) devem ser colocados, tanto quanto possível, próximos uns aos outros, aproveitando a mesma estrutura. Essa disposição deve ser adotada ainda que obrigue a um maior comprimento das tubulações, cujo custo é em geral menor do que o das estruturas de suporte e suas fundações. Fazem exceção, evidentemente, os vasos grandes e outros equipamentos importantes que devam ter estruturas próprias de sustentação. Os equipamentos pequenos são freqüentemente colocados superpostos, também por economia de estruturas.

Na faixa de terreno compreendida entre as linhas limites da unidade e as ruas adjacentes, não deve haver nenhuma construção, exceto as passagens de tubulações de entrada e saída, hidrantes de incêndio e postes de iluminação.

3. *Cotas de elevação dos equipamentos*(*) — Como regra geral, todos os equipamentos devem ser colocados na menor cota de elevação possível, para facilidade de operação e manutenção, e para economia de estruturas e fundações.

Todas as máquinas (bombas, turbinas, compressores etc.) são sempre instaladas sobre bases de pequena altura, com um mínimo de 0,3 m acima do piso.

Os tanques, vasos, torres, reatores e outros equipamentos estáticos devem também, sempre que possível, ser colocados sobre bases de pequena altura, que devem ter, entretanto, altura suficiente para resultar nas seguintes folgas mínimas entre o piso e a parte inferior do equipamento:

— trocadores de calor: 1 a 1,5 m;
— vasos horizontais diversos: 1 a 1,3 m.

As torres e outros vasos verticais devem ter uma distância livre mínima de 1,2 m entre o fundo do vaso e a base de concreto.

Existem, entretanto, com freqüência, casos que obrigam a instalação de equipamentos sobre bases elevadas; entre esses casos podemos citar como mais comuns os seguintes:

a) Necessidade de colocar a tubulação de saída de fundo do equipamento sobre suportes elevados. Como veremos no Item 10.5, no próximo capítulo, é usual em áreas de processo instalar-se a maior parte das tubulações sobre suportes elevados. Esse é o caso mais comum da instalação de equipamentos em posições elevadas.

b) Necessidade de colocar o reservatório de sucção de uma bomba em posição elevada para garantir um valor adequado para a pressão na entrada da bomba (NPSH da bomba).

(*)Na terminologia usual de projetos industriais, chama-se de "elevação" a distância na vertical de um ponto qualquer da instalação ao nível de referência de projeto (veja Item 9.4), e de "altura", a distância vertical de um ponto qualquer ao piso acabado.

c) Necessidade de proporcionar o escoamento de líquidos por gravidade.

d) Permitir o funcionamento por termo-sifão.

Quando for necessário colocar vasos, tanques ou outros reservatórios de sucção de bombas em posições elevadas, a cota de elevação deve ser fixada de forma a garantir um NPSH adequado na entrada da bomba, levando-se em conta as perdas de carga na tubulação, e a pressão de vapor do líquido, como está explicado no Cap. 2 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo". Esse aspecto é particularmente importante em tubulações para líquidos voláteis, viscosos ou em altas temperaturas.

A fixação dos níveis dos reservatórios entre os quais haja fluxo por gravidade ou por termo-sifão deve ser feita de maneira que se obtenha uma altura estática capaz de garantir o fluxo desejado nas condições mais desfavoráveis possíveis.

Deve ser observado que as cotas de elevação dos equipamentos obtidas nessa fase do projeto são valores aproximados, porque os valores exatos dessas cotas dependem geralmente do detalhamento das tubulações — inclusive dimensões exatas e disposição das conexões de tubulação —, como será visto no Item 10.8, e portanto só podem ser obtidos em uma fase mais avançada do projeto global.

4. *Faixas de tráfego e de passagem das tubulações* — Dentro das áreas de processo as tubulações costumam correr elevadas, em "pontes de tubulação", ou "bancadas de tubulações" (pipe-rack), como veremos adiante, no Item 10.5 do próximo capítulo. Essas faixas de passagem devem ser dispostas na parte central da área, entre as filas de equipamentos, para simplificar os traçados das tubulações (veja Fig. 9.6). As larguras das faixas de passagem devem ser avaliadas considerando-se a quantidade máxima de tubulações que devem passar, e seus diâmetros e distâncias mínimas entre tubos paralelos; (veja Fig. 10.6) devem também ser deixada uma folga para possíveis ampliações (10 a 20%), e para a passagem dos dutos de instrumentação (veja Itens 10.2 e 10.5). Quando essa largura exceder a 7,0 m, recomenda-se estudar a conveniência de colocar a tubulação em dois níveis superpostos.

As faixas de passagem de tubulações servem também como vias de trânsito de pessoas e de veículos no interior da área. Para que seja possível o tráfego por baixo das tubulações devem ser deixadas as larguras e alturas livres necessárias de acordo com o gabarito dos veículos a serem utilizados na instalação, devendo-se inclusive considerar a passagem de guindastes móveis, carros de incêndio, ambulâncias etc. Devido à grande dificuldade de no futuro aumentarem-se alturas e larguras livres caso seja necessário o tráfego de veículos maiores, recomenda-se que essas alturas e larguras sejam previstas com bastante folga. A Tabela 9.2 mostra alguns valores usuais de alturas e larguras livres por baixo de pontes de tubulação.

5. *Distâncias, larguras e alturas recomendadas* — Os valores das distâncias entre equipamentos e construções, bem como das larguras e alturas livres e elevações em unidades de processo, variam bastante de acordo com a prática dos projetistas e a natureza da instalação. A Tabela 9.2 mostra alguns valores usuais que podem ser recomendados para essas medidas; voltaremos a esse assunto nos Itens 10.5 e 10.8, do Cap. 10 (veja Fig. 10.21).

Tabela 9.2

Distâncias, larguras e alturas livres	*Valores usuais (m)*
— Distâncias livres mínimas entre (v. Nota 1):	
— Torres e outros vasos grandes (de parede a parede)	2,0 a 4,0
— Trocadores de calor (de parede a parede)	0,75 a 1,0
— Vasos em geral (de parede a parede)	1,0 a 2,0
— Bases de bombas (v. Nota 2)	0,9 a 1,5
— Fornos até qualquer local sujeito a vazamento	15,0 (mín.)
— Distância livre atrás da tampa desmontável do casco de trocadores de calor	1,2 a 1,5
— Vão entre suportes principais de tubulações elevadas	6,0
— Larguras livres para tráfego:	
— Embaixo de pontes principais de tubulações elevadas	4,8 a 6,0
— Idem, secundárias	3,0 a 4,0
— Plataformas e passagens de acesso de pessoas	0,8 a 1,0
— Alturas livres para tráfego:	
— Embaixo de tubulações elevadas principais	4,0 a 4,5
— Idem, secundárias	3,0 a 3,5
— Acima de plataformas e passagens de acesso de pessoas	2,1

Notas: 1. Essas distâncias valem também como distâncias livres mínimas entre um equipamento e uma parede, coluna, ou qualquer outro obstáculo.
2. Excetuam-se bombas pequenas, montadas em uma base única, com acesso livre por dois lados, pelo menos.

6. *Facilidades para montagem, operação e manutenção* — Devem ser previstas amplas facilidades para acesso e manobra de guindastes, caminhões, empilhadeiras e outros veículos ou equipamentos de transporte e de movimentação de pesos. Todos os equipamentos de processo da instalação devem ser acessíveis para permitir a montagem, desmontagem e remoção quando necessário. A Fig. 9.5 mostra a posição de um guindaste móvel para a remoção dos resfriadores de ar situados sobre uma ponte de tubulações.

As máquinas muito pesadas (compressores ou turbinas importantes, por exemplo), devem ter meios especiais permanentes de desmontagem e remoção, tais como ponte rolante, monovia com talha etc.

Devem ser deixadas também áreas reservadas para futuras ampliações e para a instalação do canteiro de obras, por ocasião da montagem. Esse último ponto é muito importante principalmente quando se tem vasos ou equipamentos que devam ser montados no campo, cuja montagem exige em geral muito espaço, inclusive o espaço necessário para a livre movimentação de caminhões, guindastes etc.

Para permitir a desmontagem e remoção dos feixes tubulares, a área em frente dos trocadores de calor, do lado de saída do feixe tubular, deve ser deixada completamente livre, em um comprimento de 1 m a 2 m a mais do que o comprimento do feixe tubular, não podendo haver nessa área nenhuma tubulação, equipamento, ou qualquer outra construção. Para todos os equipamentos que tenham peças internas desmontáveis (vasos, torres, reatores, fornos etc.), deve ser previsto um meio de remoção e manuseio dessas peças, tais como turcos, estruturas com talhas e monovias etc., bem como deixados os espaços necessários para a operação de desmontagem dessas peças. Deve também ser deixada uma área livre na base das torres, e ao longo de toda a altura das mesmas, para permitir a descida de peças internas das torres.

Os trocadores de calor com linha de centro a mais de 3,5 m acima do piso devem ter um meio permanente qualquer (estrutura com talha, monovia, turco etc.) para permitir a remoção de feixe tubular, o mesmo acontecendo com outros equipamentos situados em posição elevada, que tenham partes desmontáveis. A Fig. 9.4 mostra uma estrutura com monovia para a retirada dos feixes tubulares de trocadores.

Os seguintes pontos de uma unidade típica de processo devem ter obrigatoriamente um meio de acesso permanente, isto é, devem ser acessíveis do solo ou de um piso de operação, devendo por isso ser previstas escadas e plataformas quando não forem acessíveis do solo:

— Válvulas de controle ou de segurança.
— Válvulas de operação manual, de 4″ ou maiores, operadas com freqüência.
— Peças "figura 8", de 4″, ou maiores.
— Bocas de visita em geral, quando a mais de 3,0 m acima do solo.
— Resfriadores a ar, quando instalados em posição elevada.
— Instrumentos de leitura local e tomadas de amostras.
— Janelas de observação (caldeiras, fornos etc).
— Queimadores e sopradores de fuligem.

As bocas de visita dos vasos, torres, reatores e outros equipamentos necessitam de escada e plataforma de acesso somente quando situadas a mais de 3,0 m acima do solo; para bocas de visita em posição mais baixa, o acesso, quando necessário, pode ser feito por uma escada móvel (escada de pedreiro).

Para os resfriadores a ar montados sobre uma ponte de tubulações, é necessário prever plataformas para acesso a todas as partes mecânicas desses aparelhos (ventiladores, motores, reduções, transmissões etc.), e também acesso para a desmontagem dos cabeçotes dos feixes tubulares. Com os aparelhos de tiragem forçada, os ventiladores ficam por baixo dos feixes tubulares, e a plataforma de acesso também será por baixo; com os aparelhos de tiragem induzida os ventiladores e a plataforma ficam por cima dos feixes tubulares. Todas essas plataformas costumam ser retilíneas, ao longo da ponte de tubulações, sendo as plataformas de acesso aos cabeçotes colocadas em cada margem da estrutura da ponte, como mostrado na Fig. 9.5. As escadas de acesso a essas plataformas são escadas verticais, situadas junto às colunas dos pórticos da ponte de tubulações.

O acesso a qualquer local (inclusive plataformas elevadas) onde possa haver pessoas permanente ou intermitentemente por longos períodos de tempo deve ser feito por meio de escadas inclinadas. Para locais onde só haja pessoas eventualmente o acesso pode ser feito por escadas verticais (escadas de marinheiro), que não devem entretanto ter lances com comprimento superior a 6,0 m; quando o comprimento total da escada for maior do que esse valor, deve-se subdividir em seções, por meio de plataformas intermediárias. As plataformas com comprimento maior do que 8,0 m devem ter dois acessos diferentes por lados opostos, um dos quais poderá ser uma escada vertical. As plataformas e escadas costumam ter uma largura livre mínima de 0,75 a 0,9 m.

As escadas de subida às torres, reatores, vasos etc., devem ser colocadas na posição de acesso mais fácil, geralmente voltadas para o lado da ponte de tubulações elevadas.

Todos os equipamentos e todos os locais onde haja risco de incêndio ou de explosão devem ter obrigatoriamente pelo menos dois caminhos de acesso em direções opostas.

Sempre que seja necessário ou possível o recebimento ou o envio de materiais por caminhões ou por outros veículos, deve ser deixado um espaço suficiente para o fácil acesso e manobra desses veículos.

7. *Drenagem* — Deve ser estudada com cuidado a drenagem das áreas de processo, tanto a drenagem pluvial como a drenagem dos efluentes e dos possíveis vazamentos resultantes do próprio funcionamento.

Quando os fluidos circulantes forem inflamáveis, tóxicos ou perigosos de um modo geral, a drenagem dos

despejos e vazamentos deve ser completamente segregada da drenagem pluvial, para evitar que os fluidos perigosos possam contaminar o sistema de drenagem pluvial. Essa separação é conseguida circundando-se com muretas de contenção todas as áreas onde possam haver despejos ou vazamentos dos fluidos circulantes. Devem assim ser colocadas muretas de contenção em volta dos locais das bombas, torres, vasos, trocadores de calor, grupos de válvulas etc. Os exemplos das Figs. 9.3 e 9.4 mostram claramente as muretas de contenção.

Tanto a drenagem das áreas circundadas pelas muretas, como a drenagem das áreas externas, são conseguidas por meio de caimentos adequados na pavimentação, conduzindo para caixas ou valas de coleta.

8. *Unidades a céu aberto ou dentro de prédios* — No passado foram comuns as unidades de processo instaladas dentro de prédios ou galpões (in-doors) com cobertura e freqüentemente também com paredes laterais. Atualmente, a grande maioria é a céu aberto, devido não só ao grande porte dos equipamentos, que inviabiliza, em muitos casos, a construção de qualquer cobertura, como principalmente por motivos econômicos e de segurança, porque a cobertura, além de dispendiosa, dificulta o combate a incêndios e pode tornar mais graves outros acidentes.

Continuam entretanto a serem construídas dentro de prédios algumas unidades, principalmente em indústrias alimentares e farmacêuticas, que só tenham equipamentos de médio e pequeno porte, e que necessitem de atmosfera limpa, clima controlado, ou equipamentos abrigados de intempéries.

Em qualquer caso, mesmo nas instalações usuais a céu aberto, a casa de controle é sempre um prédio fechado, onde fica o operador e o painel de controle.

9.4 Plantas de Arranjo

As plantas de arranjo ou de locação (plot-plan), são desenhos feitos em escala que mostram em projeção horizontal a disposição geral das diversas construções e equipamentos em uma instalação industrial, ou em uma área abrangida por uma rede de tubulações.

Exceto em instalações muito pequenas, em que seja possível mostrar toda área com clareza suficiente em uma única folha, costumam-se fazer os seguintes tipos de plantas de arranjo.

— Planta de arranjo geral, mostrando todo terreno (general plot-plan).
— Plantas de arranjo de cada unidade de processo ou de utilidades (unit plot-plan).
— Plantas de arranjo de áreas de armazenagem, de faixas de passagem de tubulações, ou de outras áreas externas onde hajam construções industriais ou passagens de tubulações.

As Figs. 9.1 e 9.2 mostram exemplos dos dois primeiros tipos desses desenhos.

Exceto em terrenos muito pequenos, é prática corrente subdividir-se o terreno em área parciais, correspondendo cada área parcial a uma unidade de processo ou de utilidades, a uma área de armazenagem ou de passagem de tubulações, ou ainda a um grupo de prédios. As linhas de divisão entre as áreas — que deverão seguir as direções ortogonais de projeto (norte-sul e leste-oeste de projeto) — serão linhas de centro de ruas ou outros alinhamentos marcantes da instalação. Cada área parcial receberá um número. Quando a área parcial puder se coberta por uma única folha de planta, a planta levará o mesmo número da área; quando a uma mesma área correspondem várias folhas, a numeração das plantas deverá guardar uma relação com o número da área: no exemplo mostrado nas Figs. 13.3(a) a 13.3(d), do Cap. 13, a "Unidade 3" está representada em quatro folhas de planta, denominadas Áreas 31, 32, 33 e 34. No final, as diversas folhas de planta deverão limitar-se entre si, formando um mosaico contínuo cobrindo pelo menos toda área do terreno onde existam instalações industriais.

A numeração das áreas parciais, como acima descrito, é a numeração básica de todo o projeto, servindo de diretriz para a numeração de todos os desenhos, e também para todas as siglas de identificação individual de tubulações, equipamentos e instrumentos existentes em cada área (veja Item 13.2).

Em todos os projetos estabelece-se uma rede de coordenadas baseada nas duas direções ortogonais de projeto. Essa rede de coordenadas, que deverá abranger toda área do terreno, servirá para definir a localização de tudo o que há ou que haverá no terreno. É prática usual adotar-se o ponto de origem das coordenadas no canto inferior esquerdo da planta de arranjo geral, de forma que as coordenadas cresçam de sul para norte e de oeste para leste. No exemplo mostrado na Fig. 9.1, vê-se o ângulo inferior esquerdo do terreno com as coordenadas N-000 e E-000. A linha de centro da "Rua 1" está na coordenada N-230, a linha de centro da "Rua 2" está na coordenada N-530, e assim por diante.

Além da rede de coordenadas é necessário estabelecer também uma referência de nível, para a definição de todas as elevações. Em geral, essa referência de nível é feita designando-se como "Elevação 0,00" o ponto mais baixo do piso acabado da instalação, levando-se em conta as declividades e diferenças de cota necessárias para a drenagem. Muitos projetistas preferem designar o nível do solo como sendo "Elevação 100,00", com a finalidade de evitar cotas negativas para as construções abaixo desse nível (fundo de trincheiras, tubulações subterrâneas, instalações elétricas, caixas e valas de drenagem etc.).

É usual nessas plantas que todas as dimensões, cotas e elevações sejam expressas em metros.

A Fig. 9.2 é a planta de locação da "Unidade 3" da instalação mostrada na Fig. 9.1. Note-se, na Fig. 9.2, os equipamentos situados em posição elevada, o aproveitamento da mesma estrutura para vários equipamentos, a colocação de todas as bombas em um único conjunto, as áreas para desmontagem e todas as demais recomendações referidas no item anterior.

As plantas de arranjo geral devem mostrar pelo menos o seguinte:

— Avenidas, ruas, acessos, estradas, ferrovias, áreas pavimentadas, áreas reservadas para futuras ampliações e para construções provisórias.
— Prédios e outras construções (indicados pelo seu contorno e por sua finalidade).
— Unidades de processo e de utilidades, estações de tratamento de água e de efluentes, subestações, tochas de queima de gases, casas de controle etc. (indicadas pelo seu contorno e por sua finalidade ou sigla indicativa).
— Áreas de armazenagem, com indicação dos diques de contenção (veja Item 12.5) e indicação individual de cada tanque, com respectiva sigla de identificação (veja Item 13.2), dimensões do tanque e da base, posição da linha de centro e indicação do produto armazenado.
— Faixas de passagem de tubulações.
— Canais, rios, valas de drenagem etc.

As plantas de arranjo de unidades devem mostrar:

— Todos os equipamentos, mesmo quando pequenos, pouco importantes ou de reserva, assinalados pela posição da linha de centro, contorno da base e do equipamento, e sigla de identificação (veja Item 13.2).
— Pontes de tubulação e outras faixas de passagem geral de tubulações: tubovias, trincheiras, valetas etc. (veja Item 10.6).
— Prédios, estruturas, bases de equipamentos, plataformas, escadas e todas as outras construções existentes, indicadas pelo seu contorno e sua finalidade.
— Ruas e acessos internos. Áreas pavimentadas. Muretas de contenção.
— Áreas reservadas para a desmontagem de equipamentos ou para manutenção.

As plantas de arranjo de áreas externas devem mostrar:

— Ruas, acessos, diques, canais, passagens de tubulações.
— Tubovias (e respectivos pontilhões de cruzamento) e outras faixas de passagem geral de tubulações: pontes, valetas etc.
— Tanques de armazenagem e outros equipamentos, assinalados pela posição da linha de centro, contorno da base e do equipamento e sigla de identificação. Para os tanques de armazenagem é usual indicar também, para cada um, o volume e o produto armazenado.
— Estações de bombas ou de compressores, subestações, casas de controle etc., indicadas pelo seu contorno e arranjo de equipamentos.

Todas as plantas de arranjo, de qualquer dos tipos acima citados, devem sempre conter mais as seguintes informações:

— Limites do terreno, da unidade ou da área abrangida pelo desenho.
— Orientação (norte de projeto e norte verdadeiro).
— Coordenadas de limites, linhas de centro de ruas e de equipamentos, contorno de edifícios e de outras construções.
— Elevações de ruas, pisos, áreas pavimentadas, construções, bases e linhas de centro de equipamentos, plataformas etc.
— Cotas necessárias para a perfeita localização de todos os elementos figurados no desenho.
— Números das outras folhas de planta (se houver) que limitem com a planta em questão, ou que sejam continuação para qualquer lado.
— Escala do desenho. As plantas de arranjo geral costumam ser feitas em papel tamanho A0 ou A1, em escala 1:1.000 a 1:5.000. Para as plantas de arranjo de unidades de processo e de áreas externas, o papel costuma ser de tamanho A1 ou A2, em escala 1:250 a 1:500.

Nas plantas de arranjo das áreas de processo devem figurar sempre detalhes mostrando as tubulações que entram e saem da área, com indicação do diâmetro, cota e elevação de cada uma, como mostrado no "Detalhe 1" da Fig. 9.2. É usual também incluir-se em cada folha de desenho a lista de todos os equipamentos que figuram na respectiva folha.

Em unidades muito complexas, onde existam equipamentos superpostos em várias elevações diferentes, é comum haver necessidade de se fazer, para uma mesma área, mais de uma planta de arranjo, representando cada planta um nível diferente.

Para as unidades de processo, além da planta de arranjo, fazem-se, às vezes, desenhos de elevação em projeção vertical, como os exemplos das Figs. 9.3 e 9.4. Esses desenhos, que facilitam muito o estudo da disposição geral das construções e equipamentos, devem ser feitos na mesma escala da planta, e neles devem figurar os mesmos elementos mostrados na planta.

Muitos projetistas empregam também, como auxiliar do estudo do "lay-out" das unidades de processo, modelos reduzidos feitos em escala, nos quais os diversos prédios, vasos, equipamentos e outras construções são representados por peças em escala. Com o uso de modelos reduzidos pode-se facilmente modificar várias vezes a disposição geral, comparando-se as vantagens e desvantagens recíprocas.

10

ARRANJO E DETALHAMENTO DE TUBULAÇÕES

10.1 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

No arranjo e detalhamento de tubulações industriais devem ser sempre levados em conta os seguintes pontos básicos:

1. *Condições de serviço* — Raramente as condições de serviço impõem de forma obrigatória o traçado de uma tubulação. Essas condições, entretanto, devem ser conhecidas de quem projeta a tubulação, não só para que se saiba a razão de ser do projeto, como também porque há casos em que se exige, por exemplo, mínimo de perdas de carga, declividade constante, traçado retilíneo obrigatório etc.; sobre este assunto, veja Item 13.3.2d.

2. *Flexibilidade* — As linhas devem ter um traçado tal que lhes dê uma flexibilidade suficiente para absorver os esforços provenientes das dilatações térmicas. Esse estudo encontra-se no Cap. 5 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo".

3. *Transmissão de esforços e vibrações* — Não deve haver transmissão de esforços não admissíveis, das tubulações para os equipamentos a elas ligados e vice-versa.

4. *Acessibilidade* — As válvulas e equipamentos que exijam operação ou manutenção devem ser acessíveis com facilidade. A tubulação toda deve geralmente ser acessível pelo menos para inspeção.

5. *Construção e Manutenção* — Devem ser previstas facilidades para a construção e manutenção, inclusive pintura da tubulação e de todos os acessórios e equipamentos. A desmontagem das tubulações raramente ocorre, e não é em geral considerada.

6. *Segurança* — Devem-se prevenir acidentes ou procurar reduzir ao mínimo as suas conseqüências, se ocorrerem.

7. *Economia* — O melhor traçado é sempre o mais barato, respeitadas as demais exigências.

8. *Aparência* — Uma boa aparência, isto é, um aspecto de ordem e de serviço bem acabado, é sempre necessária, concorrendo ainda para facilidade de operação, de manutenção e para a economia.

É fácil de verificar que esses fatores de influência são muitas vezes conflitantes entre si, sendo freqüentemente impossível atender-se a todos ao mesmo tempo; nesses casos deverá ser atendido de preferência o que for mais importante. Observe-se também que a ordem de importância relativa desses fatores pode variar de um caso para outro.

10.2 REGRAS GERAIS PARA O ARRANJO DE TUBULAÇÕES NÃO-SUBTERRÂNEAS

Dentro dos limites de uma instalação industrial quase todas as tubulações costumam ser não-subterrâneas. Há várias razões para essa prática que é generalizada: as tubulações não-subterrâneas são mais seguras e de maior confiabilidade, porque são mais facilmente inspecionadas e reparadas quando necessário; em tubulações subterrâneas, um vazamento quando chega a ser percebido já está em geral muito grave. As tubulações não-subterrâneas são também geralmente mais econômicas e de construção e manutenção mais fáceis. Além do mais, tratando-se de tubulações com isolamento térmico, ou com aquecimento, a construção subterrânea — exceto para trechos muito curtos — é praticamente inviável.

Existem várias regras e recomendações, de uso corrente, para o arranjo e detalhamento de tubulações não-subterrâneas em instalações industriais. Essas regras, descritas a seguir e no decorrer deste capítulo, embora sejam consagradas pela prática usual, não devem ser tomadas como absolutas, e sim como uma orientação geral, que deve ser observada de preferência e sempre que possível. Todas

podem admitir exceções, desde que devidamente justificáveis, a critério do projetista e em face das circunstâncias locais. Em casda caso específico de projeto de uma tubulação deverão ser obedecidos, em primeiro lugar, caso existirem, os códigos e especificações para cada local e cada serviço.

1. *Grupos paralelos de mesma elevação* — As tubulações devem correr, sempre que possível, formando grupos paralelos e de mesma elevação, isto é, de mesma cota de nível de geratriz inferior (Fig. 10.1). Esse procedimento simplifica os suportes que ficam no mesmo nível para todos os tubos. A elevação de geratriz inferior dos tubos é o que se chama "elevação do fundo" (EL.F.) ou "elevação B.O.P." (bottom of pipe).

As tubulações com isolamento térmico externo devem ter um patim de proteção do isolamento (veja Item 11.4), e, por esse motivo, ficam com a geratriz de fundo mais elevado do que as tubulações sem isolamento apoiadas nos mesmos suportes.

As tubulações de grande diâmetro (mais de 20″) podem fazer exceção a essa regra, correndo independente das outras, não só devido a razões de serviço, como também porque, fazendo-se trajetos curtos e diretos, tem-se economia de material. O traçado das tubulações deve por isso ser sempre iniciado pelas tubulações de maior diâmetro, pelas linhas-tronco e também pelas áreas mais congestionadas.

2. *Tubulações nas direções ortogonais* — Sempre que possível, todas as tubulações devem correr em nível e paralelas a uma das duas direções ortogonais de projeto (norte-sul ou leste-oeste de projeto), ou na direção vertical, como mostrado na Fig. 10.2. Conseqüentemente, todas as mudanças de direção — no plano horizontal ou no plano vertical — devem ser em ângulo reto, devendo-se evitar tubulações em posição inclinada em relação a qualquer uma das três direções ortogonais.

Podem fazer exceção as tubulações de diâmetro muito grande e as que por exigência de serviço devam ter um trajeto direto ou um caimento contínuo. Permitem-se também sempre pequenos trechos (1 m ou menos), a 45° com as direções ortogonais, para desviar de obstáculos, fazer derivações ou fazer mudanças de elevação, como mostrado nas Figs. 10.17 e 10.26, e na figura da capa deste livro.

3. *Elevações diferentes para direções diferentes* — Para permitir as derivações e cruzamentos, as tubulações horizontais paralelas a uma das direções ortogonais devem correr em elevação diferente das tubulações paralelas à outra direção ortogonal. Por exemplo, as tubulações na direção Norte-Sul correm em elevação mais alta do que as tubulações na direção Leste-Oeste, ou vice-versa, como mostra a Fig. 10.2. Dessa forma, quando uma tubulação mudar de direção, no plano horizontal, deve também mudar de elevação. Essa regra admite muitas exceções, e não precisa ser observada onde não existam derivações nem cruzamentos, e seja improvável que no futuro venham a existir, e também, muitas vezes, nas mudanças de direção que se fazem apenas por motivo de flexibilidade (veja a seguir).

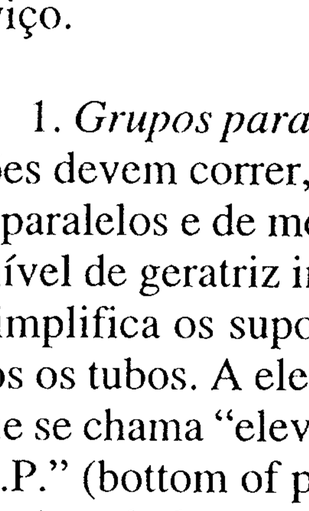


Fig. 10.1 Grupo de tubos paralelos na mesma elevação.

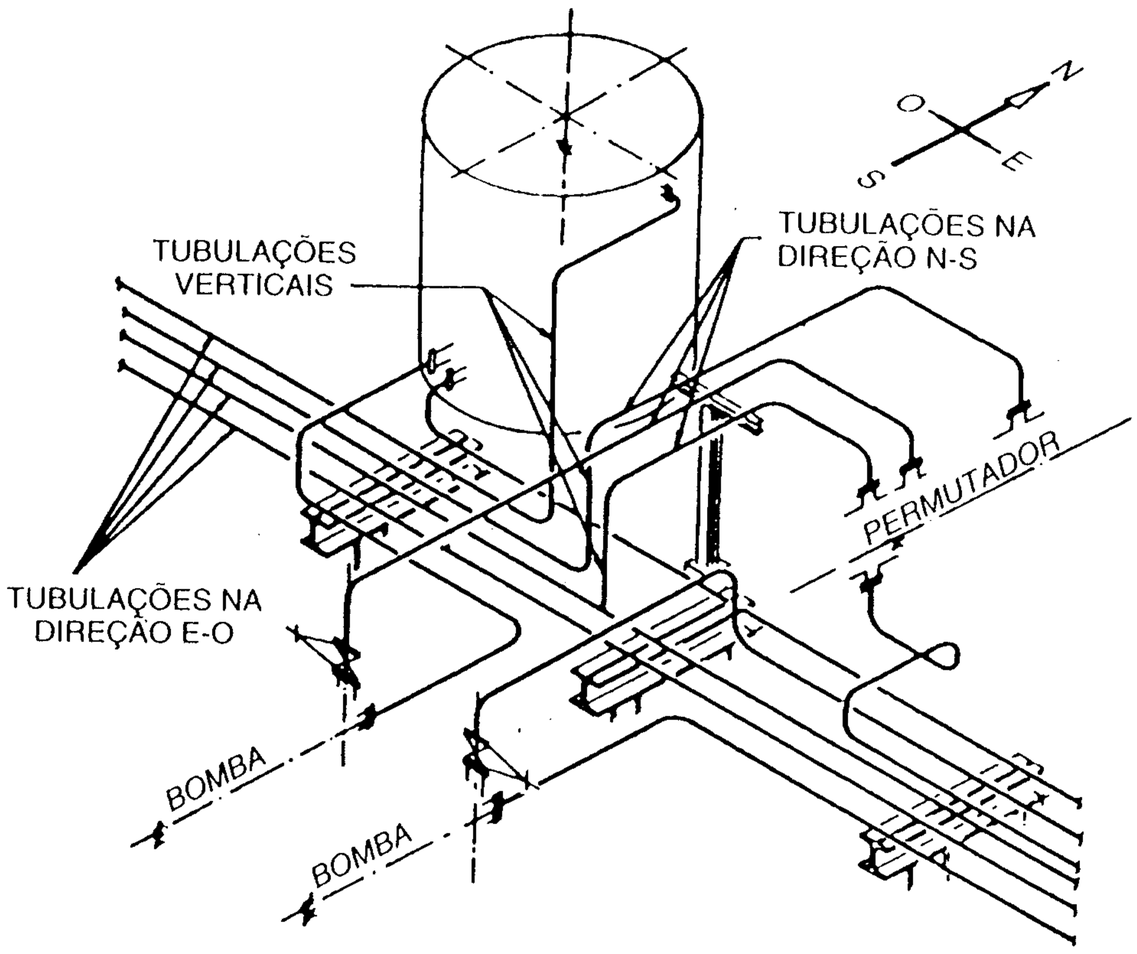


Fig. 10.2 Tubulações nas direções ortogonais de projeto.

4. *Flexibilidade* — Todas as tubulações devem ter, sempre que possível, um traçado tal que lhes proporcione uma flexibilidade própria, de forma que sejam capazes de absorver as dilatações térmicas por meio de flexões ou torções dos diversos trechos. Essa flexibilidade é conseguida dando-se à tubulação um traçado não-retilíneo conveniente, com mudanças de direção no plano ou no espaço, como está descrito com mais detalhes no Cap. 5 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo". Como regra geral, *não deve haver nenhum trecho de tubo reto entre dois pontos fixos*; só podem fazer exceção os tubos contendo juntas de expansão ou dispositivos equivalentes (juntas Dresser, por exemplo). Pontos fixos são os pontos extremos das tubulações, onde se ligam a equipamentos (vasos, tanques, bombas etc.) que estão chumbados nas suas bases, e também as ancoragens das próprias tubulações, descritas no Item 11.10, do próximo capítulo. Como já referido no Cap. 6 deste livro, as juntas de expansão têm uso limitado, devendo ser evitadas em muitos casos.

Na Fig. 10.3 estão exemplificados alguns traçados não-retilíneos e suas respectivas posições deformadas pela dilatação térmica.

No caso de tubulações longas (às vezes de vários quilômetros), que devam seguir obrigatoriamente uma di-

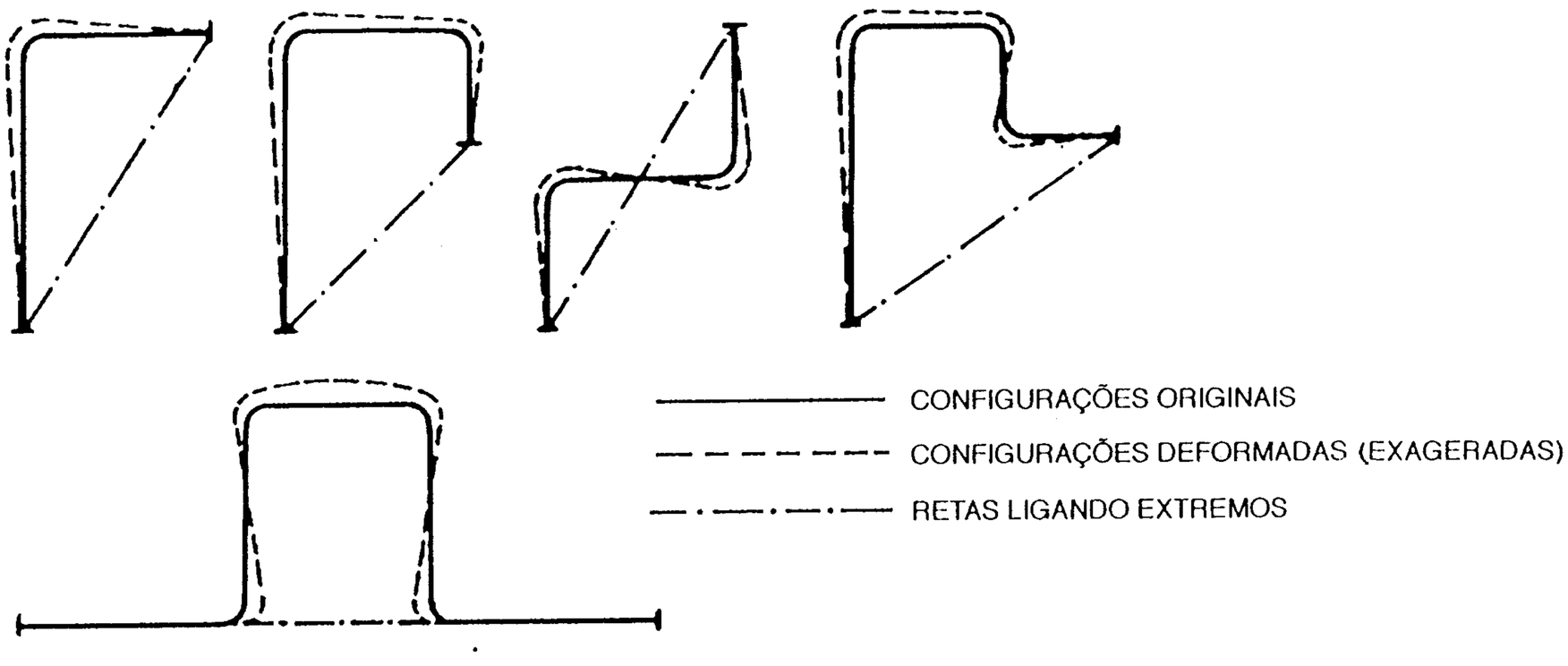


Fig. 10.3 Exemplos de traçados não-retilíneos.

reção geral retilínea — ao longo de uma rua, ou dentro de uma faixa de passagem de tubulações —, a necessária flexibilidade é conseguida subdividindo-se a tubulação, por meio de ancoragens (veja Item 11.12.1), em vários trechos sucessivos, em cada um dos quais será colocada uma curva de expansão, como mostra a Fig. 10.4. Esse é o caso, por exemplo, das tubulações que seguem pelas faixas de passagem, mostradas na Fig. 9.1; a figura da capa deste livro mostra também tubulações longas, com direção geral retilínea e com curvas de expansão. A subdivisão em trechos é necessária para que as curvas de expansão tenham dimensões que permitam acomodá-las dentro da largura da faixa de terreno reservada para a passagem de tubulações. Cada trecho contendo uma curva de expansão deve ficar entre duas ancoragens e funciona independente dos trechos vizinhos.

Na grande maioria dos casos, as curvas de expansão são construídas por trechos sucessivos de tubos retos e curvas de 90°, (*) e devem ser colocadas no plano horizontal, geralmente em elevação superior ao grupo de tubos paralelos e rebatidas sobre a própria tubulação. Por economia de suportes, é usual a colocação de várias curvas de expansão no mesmo local, como mostra a Fig. 10.5. As curvas de expansão situadas no plano vertical — que se vêem em algumas instalações — têm graves defeitos e devem ser evitadas, devido à dificuldade de suportá-las convenientemente, e porque são fontes de vibrações, além de aumentarem a perda de carga e introduzirem pontos altos desnecessários na tubulação.

Chama-se atenção que para as tubulações onde houver proibição de pontos altos (veja Item 10.9), ou exigência de caimento constante, as curvas de expansão devem ser colocadas no mesmo plano, e não em elevação mais alta. Este é o caso, por exemplo, das linhas de descarga de válvulas de segurança e de gases para a tocha (flare).

No caso geral de um grupo de tubos paralelos, o traçado é usualmente feito de forma que as tubulações sigam os trajetos das faixas reservadas para a passagem de tubulações, como vimos nos Itens 9.2 e 9.3 do capítulo anterior. Caso, para alguma tubulação, esse traçado não resulte em uma flexibilidade suficiente, pode-se, para essa tubulação, acrescentar curvas de expansão adicionais, mantendo-se o mesmo traçado geral do grupo.

5. *Espaçamento entre tubos paralelos* — As distâncias de centro a centro de tubos paralelos adotados nos projetos são usualmente os valores dados em diversas tabelas, como a que mostra a Fig. 10.6.

As distâncias tabeladas são os valores mínimos, fixados de forma a permitir a pintura e a inspeção dos tubos e também de forma a deixar a folga necessária para flanges e peças flangeadas no próprio tubo ou nos tubos vizinhos. Note-se que os espaçamentos usuais não prevêem a

(*) As curvas de expansão são às vezes denominadas de "liras", denominação imprópria porque raramente esses dispositivos são feitos de tubos dobrados em forma de lira.

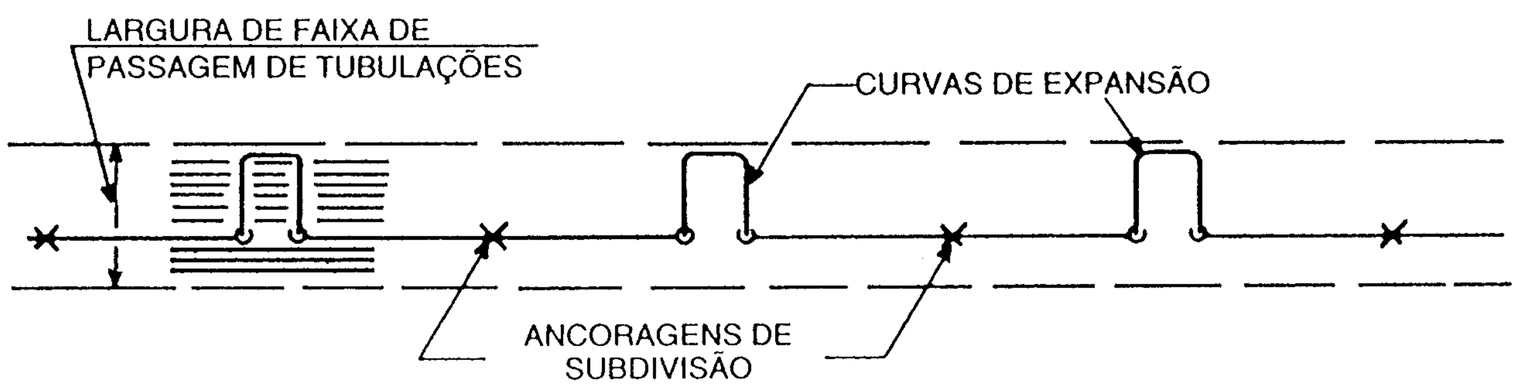


Fig. 10.4 Tubulação longa com curvas de expansão.

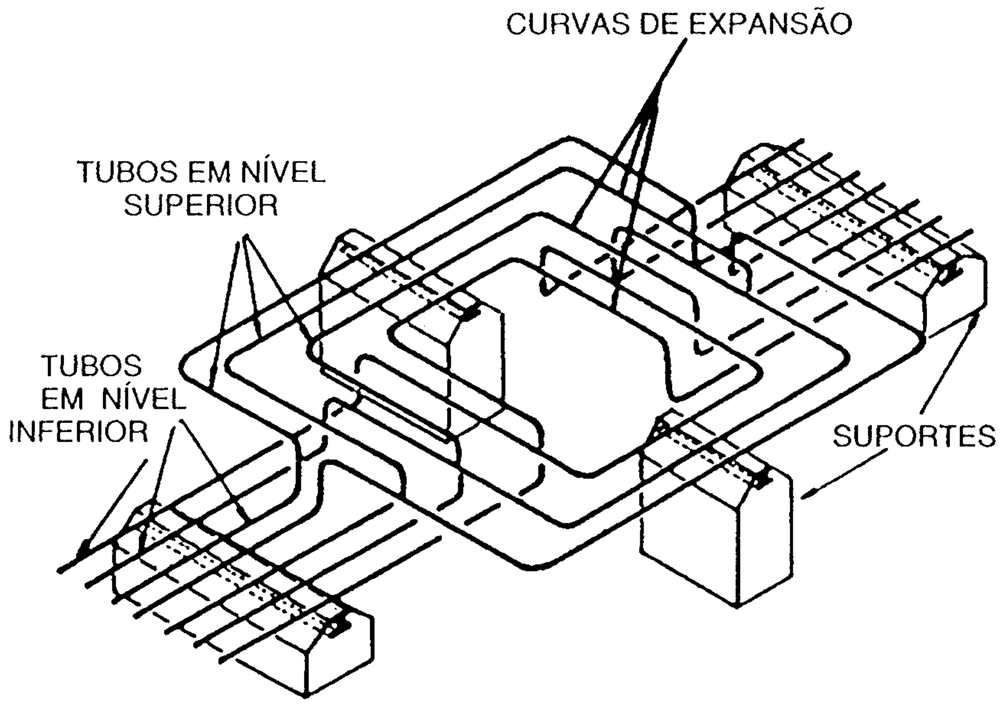
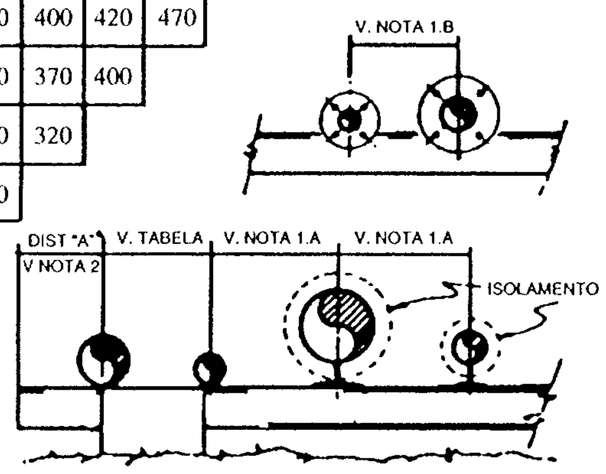


Fig. 10.5 Grupo de curvas de expansão.

colocação de flanges alinhados em tubulações vizinhas, o que aliás raramente é necessário. Isto é, quando existirem flanges ou peças flangeadas em tubos vizinhos, o usual é defasar essas peças, para poder manter o espaçamento mínimo entre os tubos (veja Fig. 10.7). Podemos citar, entre outros, os seguintes casos em que se deve adotar espaçamentos maiores do que os valores tabelados:

— Tubulações com isolamento térmico externo: Aumentar a distância de um valor igual à espessura do isolamento.

DIST "A"	DIÂMETROS NORMAIS (POLES)	1	1½	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
450	24	550	570	570	600	620	650	670	700	720	750	770	800	820	850
400	20	500	520	520	520	550	570	600	620	650	670	700	720	750	
370	18	470	470	470	500	520	550	570	600	620	620	650	670		
350	16	450	450	450	470	470	500	520	570	600	600	620			
350	14	400	420	420	450	450	470	500	520	550	570				
300	12	370	400	400	400	420	450	470	500	520					
250	10	350	350	350	370	370	400	420	470						
250	8	320	320	320	350	350	370	400							
200	6	270	270	270	300	300	320								
200	4	250	250	250	270	270									
150	3	220	220	220	250										
150	2	170	200	200											
150	1 ½	170	170												
150	1	150													



OBS.: AS DIMENSÕES ESTÃO INDICADAS EM MILÍMETROS.
NOTAS: 1 — AS DISTÂNCIAS DA TABELA DEVERÃO SER AUMENTADAS NOS SEGUINTES CASOS:
A — QUANDO UM OU AMBOS OS TUBOS TIVEREM ISOLAMENTO TÉRMICO.
B — QUANDO EXISTIREM FLANGES COINCIDENTES EM TUBOS VIZINHOS.
C — QUANDO FOREM ESPERADOS GRANDES MOVIMENTOS LATERAIS.
2 — DISTÂNCIA "A" — DISTÂNCIA MÍNIMA DA LINHA DE CENTRO DE UM TUBO EXTREMO À EXTREMIDADE DO SUPORTE.

Fig. 10.6 Espaçamento entre tubos paralelos.

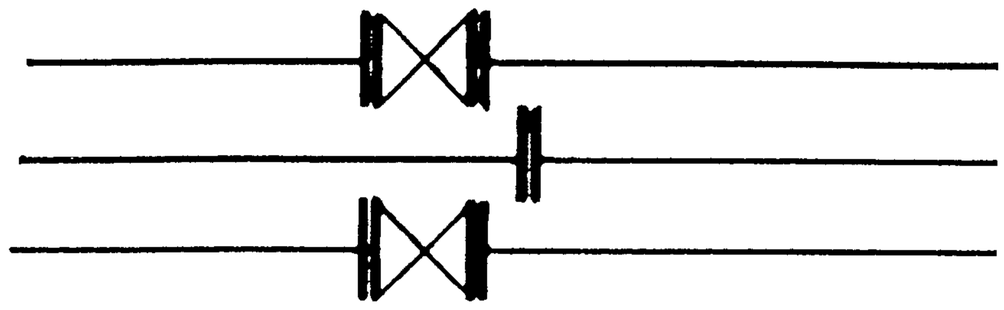


Fig. 10.7 Peças flangeadas defasadas em tubos vizinhos.

— Tubulações sujeitas a grandes movimentos laterais (para evitar que os tubos venham a se encostar).

— Casos em que seja necessário colocar alinhados flanges, válvulas ou outras peças flangeadas.

— Tubulações ligadas diretamente a um vaso ou a um tanque: Devem ser observadas as distâncias mínimas entre os bocais, de acordo com a norma de construção do vaso ou do tanque.

Como princípio geral, entretanto, pode-se dizer que os espaçamentos devem ser os menores possíveis, com a finalidade de reduzir ao mínimo indispensável as larguras das faixas de passagem de tubulações, bem como os comprimentos dos suportes, economizando nos suportes e na área do terreno.

6. *Arranjo das tubulações nos grupos paralelos* — Para o arranjo das tubulações nos grupos paralelos devem ser observados, sempre que possível, os seguintes pontos:

— Atender, em primeiro lugar, à necessidade de modulação dos vãos entre os suportes ou à necessidade de sustentação dos tubos finos pelos de grande diâmetro, como será visto no Item 10.3, a seguir.

— As tubulações que necessitam de curvas de expansão de maiores dimensões devem ser colocadas, se possível, nas margens do grupo, para deixar maior espaço para essas curvas, que são geralmente colocadas por cima das tubulações, como já referido na Fig. 10.2 (veja também as Figs. 10.11 e 10.15).

— De cada lado do grupo devem ficar as tubulações que tenham ramais para o respectivo lado.

— Colocar na parte central do grupo as tubulações que têm derivações para ambos os lados. No caso de grupos paralelos a pequena altura do solo — ou dentro de trincheiras —, devem também ser colocadas no centro as tubulações de pequeno diâmetro (até 2″), ou de materiais de baixa resistência mecânica, principalmente quando conduzindo fluidos perigosos, para maior proteção dessas tubulações contra colisões e outros acidentes (veja Item 10.9.9).

10.3 Vãos entre Suportes de Tubulação

1. *Fixação dos vãos entre suportes* — O princípio geral para o estabelecimento dos valores dos vãos entre suportes é que esses vãos devem ser os maiores possíveis, para diminuir o número de suportes, economizando estruturas e fundações.

Para um determinado tubo, o vão máximo admissível entre os suportes depende dos seguintes fatores:

— Resistência estrutural do tubo à flexão, trabalhando como uma viga contínua, que, por sua vez, depende do momento resistente da seção transversal do tubo (função do diâmetro e da espessura), e da tensão admissível do material do tubo (função do tipo de material e da temperatura).

— Cargas atuantes no vão entre os suportes, conseqüentes do peso próprio do tubo e do fluido contido, peso do isolamento térmico (se houver) e de outras cargas (veja livro "Tubulações Industriais — Cálculo", Cap. 4).

— Flecha máxima admissível no meio do vão.

As flechas devem ser limitadas, porque, quando excessivas, além de darem um aspecto desagradável à tubulação, podem dar origem a vibrações, e causam a formação de bolsas de líquido impossíveis de drenar.

Dessa forma, teremos teoricamente um valor diferente do vão máximo entre suportes para cada tubulação, e até para diversos trechos da mesma tubulação, porque esse vão dependerá da combinação de todas as variáveis acima citadas. Na prática dos projetos não é evidentemente possível adotar-se essa enorme variedade de vãos máximos, e por isso procura-se padronizar esses vãos, adotando-se valores conservativos para a tensão admissível do material, para as cargas e para as flechas. Esses valores padronizados, obtidos pelo cálculo ou pela experiência, constam de diversas tabelas e ábacos, de diversos autores, como o mostrado na Fig. 10.8(*), e são os normalmente adotados na prática de projetos. Como explicado no Cap. 4, do livro "Tubulações Industriais — Cálculos", raramente é necessário fazer-se o cálculo direto do vão entre suportes de um tubo. Na prática, esses cálculos são feitos somente quando a tubulação não puder ser enquadrada em nenhuma tabela ou ábaco disponível. No mesmo livro acima citado encontram-se fórmulas e exemplos desse cálculo.

Os vãos máximos que constam nas tabelas e ábacos referem-se sempre a tubos retos e horizontais, e geralmente também em temperatura ambiente. Como a resistência mecânica de todos os materiais diminui com o aumento de temperatura, os vãos para tubos em temperaturas elevadas deverão ser menores, bem como para os tubos sujeitos a fortes vibrações. Alguns dados práticos, como é o caso da tabela mostrada na Fig. 10.8, contêm vãos máximos admissíveis para tubos em vários temperaturas de operação.

Quando o trecho entre dois suportes consecutivos contiver uma mudança de direção no plano horizontal, o vão deve também ser diminuído, porque o peso da curva em balanço causa esforços de torção nos tubos, que vão se somar aos esforços de flexão. Existem tabelas e gráficos que fornecem coeficientes de redução que devem ser multiplicados pelos vãos máximos admissíveis, coforme as porporções dos lados da curva em balanço. O efeito de torção pode ser suprimido quando se coloca um suporte exatamente no vértice do ângulo da mudança de direção. As mudanças de direção no plano vertical também exigem uma redução apropriada do vão entre suportes.

As tabelas de vãos referem-se quase sempre a tubos de aço. Para tubos de outros materiais, o espaçamentos entre suportes devem ser diferentes, e em geral menores.

DIÂMETRO NOMINAL	ESPESSURA (SÉRIE OU POL.)	TUBOS SEM ISOLAMENTO TÉRMICO	TUBOS COM ISOLAMENTO TÉRMICO		
			LIMITES DE TEMPERATURA		
			ATÉ 200°C	ATÉ 300°C	ATÉ 500°C
		VÃO MÁXIMO (METROS)			
1	80	4,9	4,1	3,4	2,8
	160	5,0	4,3	3,6	3,0
1 ½	80	5,8	5,1	4,3	3,6
	160	6,0	5,4	4,6	3,9
2	40	5,9	5,1	4,3	3,6
	80	6,4	5,7	4,7	4,2
3	40	7,3	6,5	5,6	4,8
	80	7,8	7,1	6,1	5,3
4	40	8,1	7,3	6,4	5,5
	80	8,8	8,1	7,0	6,1
6	40	9,4	8,8	7,7	6,7
	80	10,5	9,9	8,7	7,6
8	40	10,5	9,9	8,6	7,5
	80	11,8	11,2	9,8	8,6
10	40	11,5	11,0	9,6	8,4
	80	13,1	12,6	11,1	9,7
12	3/8"	12,1	11,6	10,2	8,9
	1/2"	13,2	12,7	11,2	9,8
14	3/8"	12,3	11,9	10,4	9,1
	1/2"	13,5	13,1	11,5	10,1
16	3/8"	12,6	12,2	10,7	9,4
	1/2"	13,9	13,5	11,9	10,5
18	3/8"	12,9	12,4	11,0	9,7
	1/2"	14,3	13,8	12,3	10,8
20	3/8"	13,1	12,7	11,1	9,8
	1/2"	14,6	14,1	12,5	11,0
24	3/8"	13,5	13,1	11,5	10,1
	1/2"	15,1	14,7	13,0	11,4
30	3/8"	13,9	13,5	11,9	10,5
	1/2"	15,7	15,3	13,5	11,9
36	3/8"	14,1	13,8	12,2	10,8
	1/2"	16,1	15,7	13,9	12,3
42	3/8"	14,3	14,0	12,5	11,0
	1/2"	16,4	16,0	14,3	12,6
48	3/8"	14,5	14,2	12,6	11,2
	1/2"	16,6	16,3	14,5	12,8

Fig. 10.8 Tabela de vãos entre suportes para tubos de aço-carbono. (Tirada da norma N-46, da PETROBRÁS — Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS.

(*) A norma ASME B.31.1, para tubulações em centrais de vapor, contém uma tabela de vãos máximos recomendados entre suportes (Tabela 121.5), que pode também servir como orientação de projeto.

Os tubos de metais não-ferrosos e de plásticos rígidos exigem vãos, que são, em média, metade a um terço do vão para tubos de aço. Os tubos flexíveis (cobre flexível, chumbo, borracha, plásticos não-rígidos etc.) e todos os plásticos para temperaturas acima de 60°C, devem ter suporte contínuo, ou pelo menos vãos muito pequenos. Todos os tubos de ponta e bolsa, de qualquer material, devem ter um a dois suportes em cada vara de tubo.

2. *Vão entre suportes para grupos de tubos paralelos* — No caso geral de grupos de tubos paralelos, com diversos diâmetros, espessuras, materiais etc., não é possível estabelecer-se qualquer regra, para a determinação do vão entre suportes, que seja válida para todos os casos. Dois princípios gerais, entretanto, devem nortear o estudo de localização dos suportes:

— Nenhum trecho de tubo pode ter um vão entre suportes consecutivos maior do que o valor máximo admissível.

— O número total, e o comprimento total dos suportes devem ser os menores possíveis.

Dentro desses critérios, podem ser dadas duas recomendações gerais:

— Principalmente no caso de grupos pouco numerosos e com diâmetros muito diferentes, pode-se conseguir uma sensível redução no número total de suportes (e economia de fundações), colocando-se os tubos de pequeno diâmetro intercalados entre dois de grande diâmetro, como mostra a Fig. 10.9. Teremos então dois tipos de suportes: suportes principais, descarregando para o solo o peso de todos os tubos, e suportes intermediários (sem fundações), pendurados nos tubos grandes e sustentando somente os tubos de pequeno diâmetro. O vão dos suportes principais será fixado pelo diâmetro médio dos tubos, ou pelo diâmetro correspondente ao maior número de tubos, ficando entretanto sempre inferior ao vão dos tubos sustentadores de grande diâmetro, para que esses tenham folga de resistência para suportar os tubos pequenos.

— Quando se tem um grande número de tubos paralelos de vários diâmetros, principalmente quando se tratar

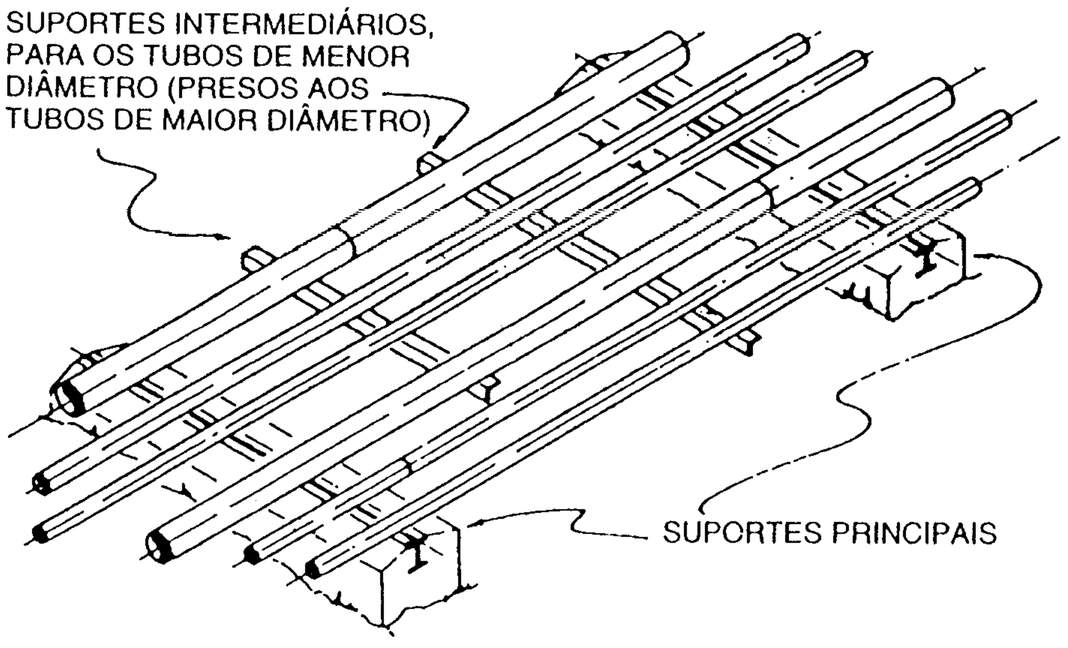


Fig. 10.9 Arrumação dos tubos de grande e de pequeno diâmetros.

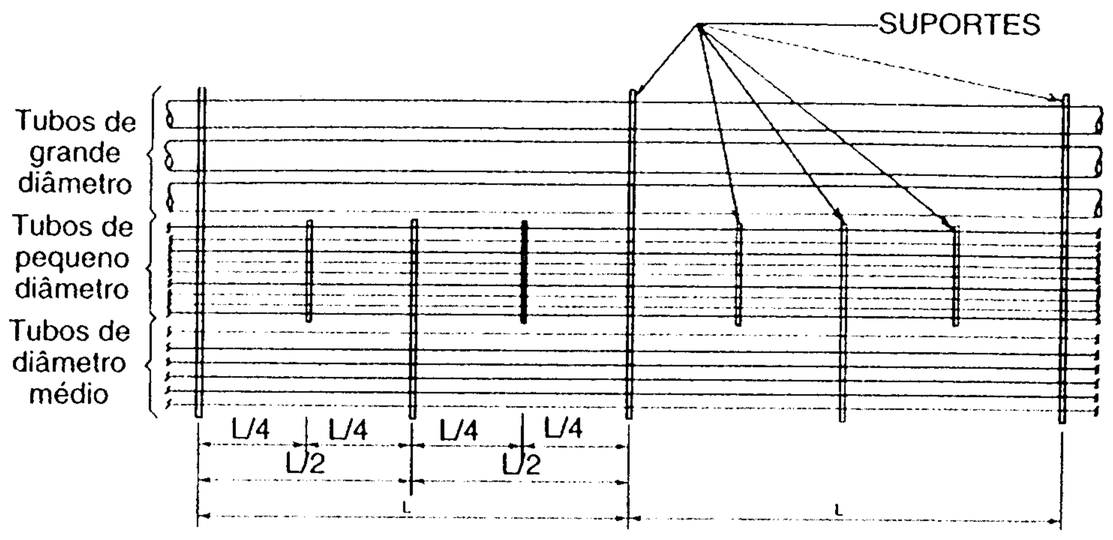


Fig. 10.10 Modulação de vãos entre suportes para tubos paralelos.

de tubulações extensas (como é o caso, freqüentemente, nas tubulações de interligação) é vantajosa a arrumação dos tubos formando grupos com diâmetros próximos, de forma que para cada grupo se possa economicamente adotar o mesmo vão entre suportes. A Fig. 10.10 mostra esse tipo de arranjo, com três grupos de tubos: um de diâmetros grandes, outro de diâmetros médios e outro de diâmetros pequenos. Se possível estabelecem-se os vãos entre suportes como múltiplos entre si, conseguindo-se dessa maneira uma modulação de vãos que facilita a construção.

São possíveis, também, e usuais, quaisquer combinações entre esses critérios de estabelecimento do vão entre suportes.

As estruturas de pórtico para grupos de tubos paralelos em áreas de processo são usualmente colocadas guardando um vão de 6 m de uma para outra, como vimos na Tab. 9.2, do Item 9.3 (4). Os pórticos são ligados entre si por vigas longitudinais que têm por finalidade dar maior rigidez ao conjunto, e absorver os esforços longitudinais da tubulação. Os tubos de pequeno diâmetro, que não possam vencer o vão entre os pórticos, são sustentados por suportes intermediários constituídos por vigas transversais apoiadas nas vigas longitudinais, como mostram as Figs. 10.16 e 11.3.

10.4 Tubulações em Áreas de Processo e Tubulações Externas

Na prática de projetos industriais distinguem-se dois casos gerais de tubulações dentro dos limites de uma instalação industrial:

1. Tubulações em áreas de processo, isto é, no interior de áreas onde os fluidos passam por transformações físicas ou químicas.
2. Tubulações em áreas externas — isto é, fora de áreas de processo —, que são as tubulações de interligação, tubulações em áreas de armazenagem etc.

As áreas de processo costumam ser áreas relativamente pequenas e com uma grande densidade de equipamen-

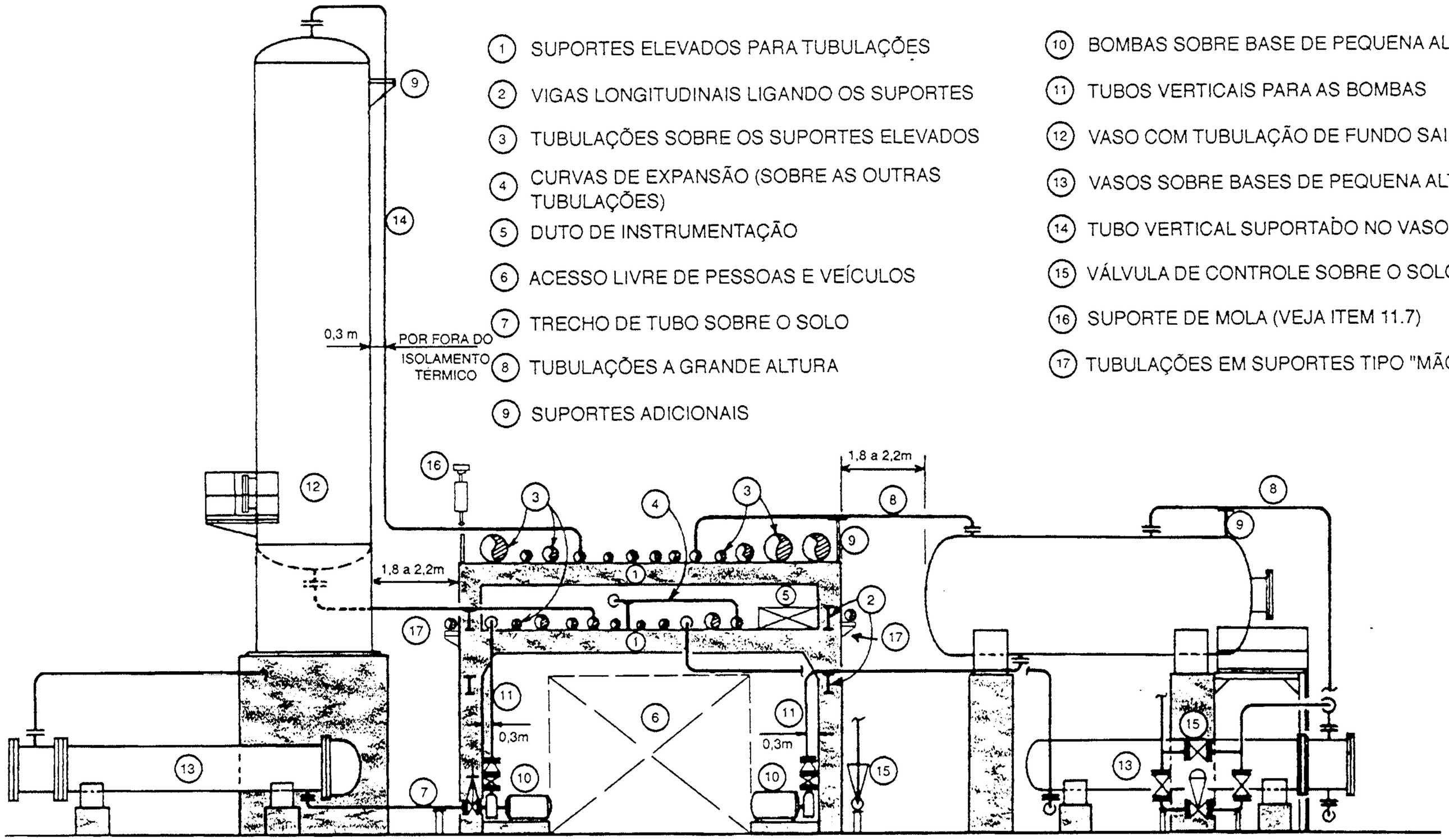


Fig. 10.11 Tubulações em áreas de processo (veja também Fig. 10.21).

tos e tubulações. Nessas áreas exige-se sempre uma grande facilidade de movimentação de pessoas e de veículos para atender às necessidades de operação e de manutenção e também por motivos de segurança, devido ao risco potencial elevado que muitas vezes existe.

Em algumas áreas de utilidades (centrais de geração de vapor, centrais de ar comprimido etc.), há também, muitas vezes, um grande congestionamento de equipamentos e de tubulações em áreas relativamente pequenas, seguindo-se assim nessas áreas os mesmos critérios de arranjo e detalhamento de tubulações das áreas de processo.

Em oposição, as tubulações externas correm geralmente em áreas extensas e descongestionadas. Por essa razão os critérios de arranjo e detalhamento de tubulações e de suportes diferem bastante para cada uma dessas duas classes de tubulações.

10.5 Arranjo de Tubulações em Áreas de Processo

Em áreas de processo, por motivo de facilidade de operação, de manutenção, de segurança, e também devido ao próprio congestionamento, a maior parte possível das tubulações deve correr sobre suportes elevados ou sobre estruturas de pórtico, constituindo as denominadas "pontes de tubulação" (pipe-rack), permitindo o livre tráfego de pessoas e de veículos por baixo, como mostram as Figs. 10.11 e 10.12. Caso necessário, os suportes elevados e os pórticos podem conter dois ou mais níveis superpostos de tubos paralelos. As fileiras de pórticos ou de suportes elevados seguem pelas faixas de passagem de tubulações, a que já nos referimos no Item 9.3 (5).

O arranjo das tubulações nos suportes elevados deve atender aos aspectos já referidos no Item 10.2.6, e mais aos seguintes pontos: as linhas pesadas, de grande diâmetro, devem ficar próximas às colunas de sustentação. As tubulações de utilidades (vapor, água, condensado, ar comprimido etc.), que em geral dão derivações para ambos os lados, devem ficar no centro dos suportes. Quando existirem dois níveis superpostos de tubos, as tubulações de utilidade devem ficar no nível superior. Devem também ser postas no nível superior as tubulações que tiverem ambas as extremidades em elevação mais alta, e no nível inferior as que tiverem ambas as extremidades em elevação mais baixa.

Como já foi referido no Cap. 9, a largura da ponte de tubulações deve ser calculada em função da quantidade e diâmetros das tubulações que por ela devem passar, considerando-se as distâncias mínimas entre os tubos. Deve também ser reservado lugar para a passagem dos dutos de instrumentação (que podem ser colocados sobre as vigas ou presos às colunas, como mostra a Fig. 10.11), recomendando-se ainda que seja deixada alguma margem de folga para acréscimos futuros, 10 a 20%, por exemplo. Para as tubulações que devam percorrer somente um trecho curto da ponte (principalmente quando de pequeno diâmetro), pode ser recomendável a colocação de suportes adicionais (tipo "mão francesa", por exemplo), presos às colunas ou vigas da estrutura, em vez de assentar os tubos diretamente sobre os pórticos; veja Fig. 11.4, no próximo capítulo.

As distâncias livres horizontais entre as colunas e a parede de vasos ou estruturas próximas costumam ser da ordem de 1,8 a 2,2 m, como mostra a Fig. 10.11.

A Fig. 10.12 é uma vista por baixo no interior de uma ponte de tubulações, vendo-se os suportes de pórtico, as tubulações elevadas e o espaço no solo inteiramente livre para o tráfego de pessoas e de veículos.

Como regra geral deve-se evitar a colocação de quaisquer tubos com cota de nível entre 2,10 m e o solo — ou o piso de operação —, que, além de perturbarem o tráfego de pessoas, podem ser uma fonte de acidentes. Excepcionalmente, podem ser permitidos tubos a pequena altura do solo (em geral linhas de sucção de bombas), desde que trechos muito curtos e que não atrapalhem as vias de tráfego (Tubulação 7, na Fig. 10.11).

Além das tubulações sobre as pontes, existem sempre tubulações elevadas ligando diretamente vasos e equipamentos entre si, ou como ramais das tubulações situadas sobre as pontes; para todas essas tubulações é freqüentemente necessário providenciar suportes independentes adicionais, para que os vãos entre os suportes fiquem dentro dos limites admissíveis (veja Fig. 10.11). Por motivo de economia, esses suportes adicionais devem ser, sempre que possível, fixados a vasos, torres ou outros equipamentos — ou a bases de equipamentos —, a estruturas diversas, a prédios, ou a outras construções existentes, desde que a carga por suporte seja compatível com essas construções.

As tubulações de saída de topo das torres de fracionamento, entre a torre e o condensador, e entre o condensador e o vaso de acumulação, devem ser o mais curtas e diretas que for possível, assim como as tubulações entre a torre de fracionamento e o refervedor. Qualquer tubulação de sucção de uma bomba deve também ser a mais curta possível e com o mínimo de perdas de carga.

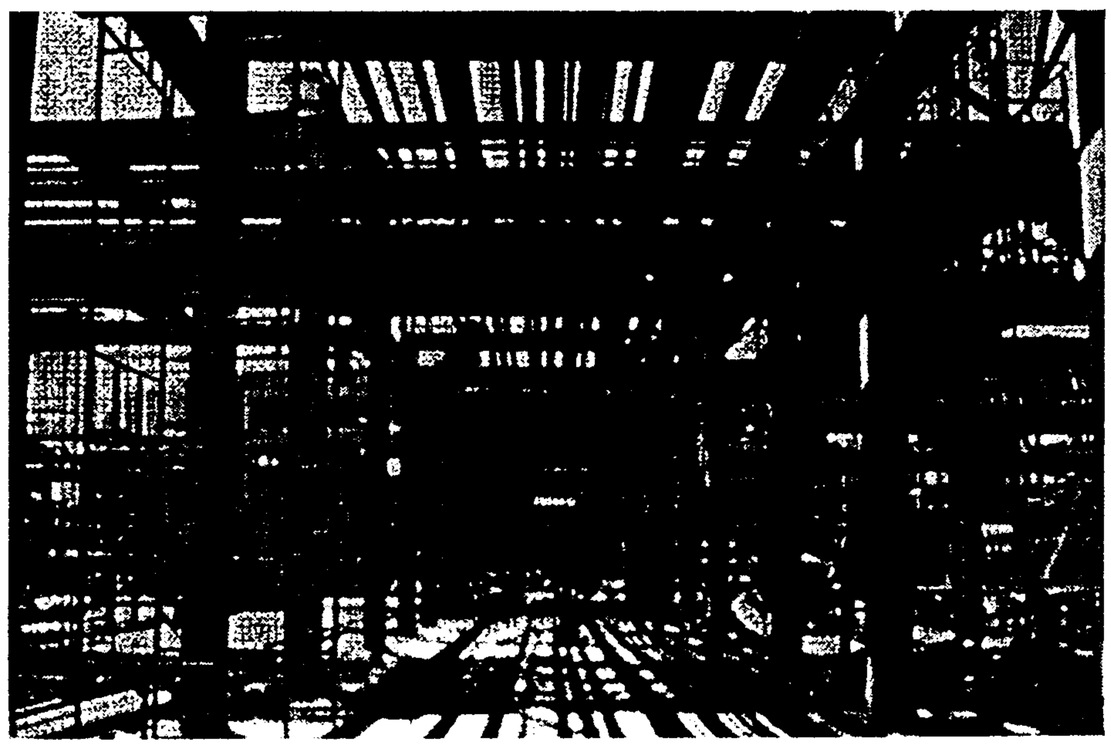
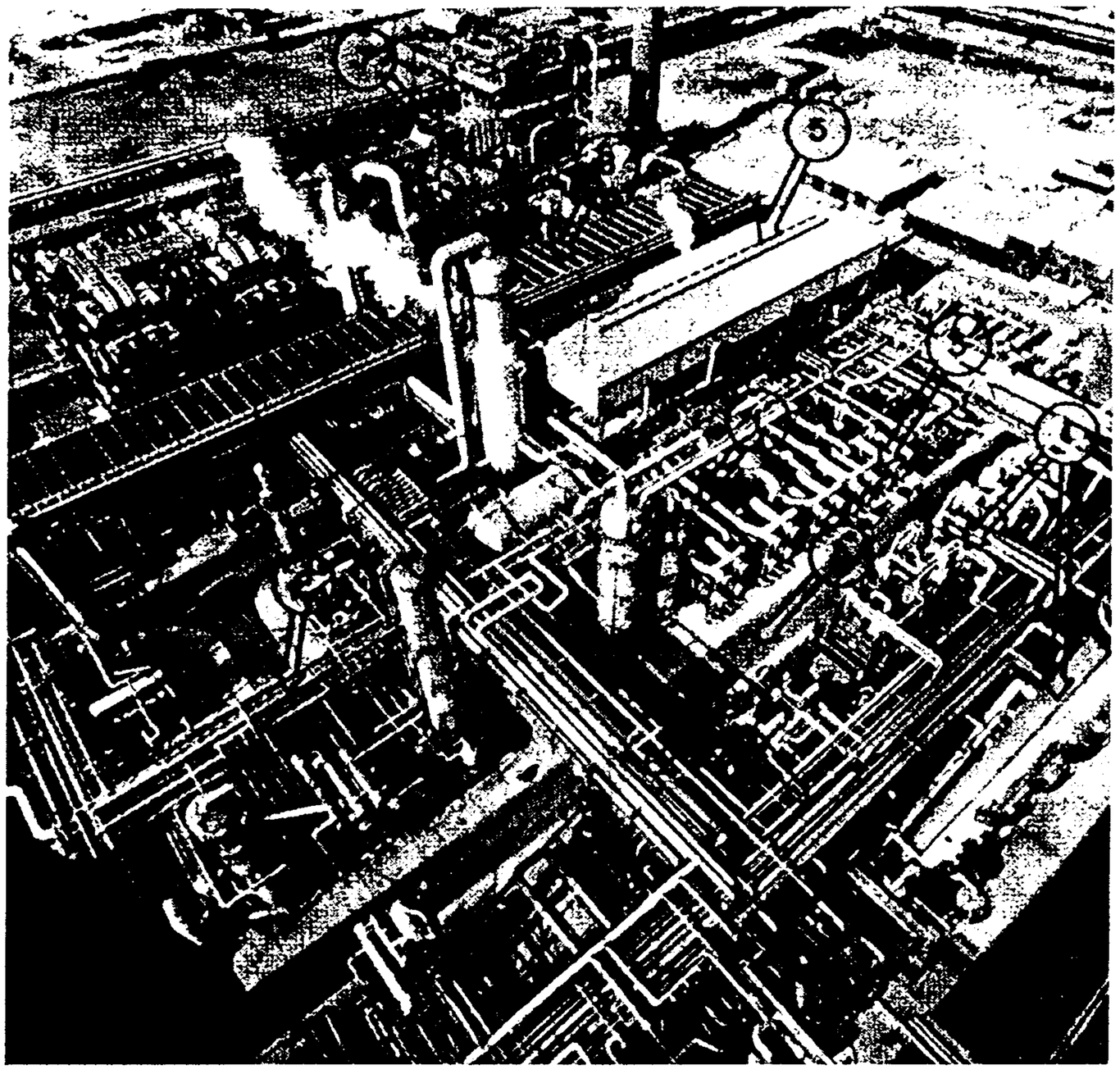


Fig. 10.12 Vista interior de uma ponte de tubulações vendo-se as tubulações sobre os suportes elevados. (Refinaria Gabriel Passos — Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS.)



1 FILAS DE EQUIPAMENTOS
2 PASSAGENS DE TUBULAÇÕES ELEVADAS
3 PERMUTADORES DE CALOR
4 RUA DE ACESSO E ESPAÇO PARA DESMONTAGEM DE FEIXES TUBULARES
5 CASA DE COMPRESSORES
6 RESFRIADORES A AR (SOBRE TUBULAÇÕES)
7 FORNOS (NO LIMITE DA ÁREA)

Fig. 10.13 Vista aérea de uma grande unidade de processo.

Para linhas de sucção de bombas ou de fluxo por gravidade, admitem-se, quando não houver outra solução viável, tubulações abaixo do piso, instaladas dentro de canaletas, como veremos adiante no Item 10.10. Entretanto, devido a sérios inconvenientes, esse tipo de construção deve ser evitado sempre que possível, ou reduzido ao mínimo indispensável.

Em áreas de processo, salvo raras exceções, todas as máquinas (bombas, compressores, turbinas etc.) são instaladas próximo ao nível do solo. Os ramais de ligação das tubulações elevadas para os referidos equipamentos costumam ser tubos verticais descendo diretamente sobre os bocais, deixando assim livres os espaços em volta e acima da máquina, como também pode ser observado na Fig. 10.11.

Os vasos, torres e outros reservatórios são freqüentemente assentados sobre bases com altura tal que permita a tubulação de fundo desses reservatórios correr sobre os suportes elevados (vaso 12, na Fig. 10.11). Essa disposição pode ser evitada quando for possível colocar próximo ao reservatório as bombas que retiram o produto de fundo; nesse caso os vasos, torres etc., podem ter bases de pequena altura, que são evidentemente mais econômicas (vasos 13, na Fig. 10.11).

Os trechos longos verticais de tubos devem correr, sempre que possível, junto às torres, ou outros vasos verticais, ou junto a paredes, estruturas etc., para facilitar o suporte das tubulações; deve-se deixar sempre uma folga livre mínima de 0,3 m, em toda volta dos tubos, medindo-se essa folga por fora do isolamento térmico, quando existente. Como regra geral, os tubos verticais devem passar por fora das plataformas de acesso, evitando-se furar e roubar espaço nas mesmas. Devem também ser deixadas completamente livres as bocas de visita dos vasos. Quando for necessário suportar tubos horizontais em plataformas, os tubos devem ser pendurados por baixo das plataformas, e não colocados em cima.

As válvulas de controle devem de preferência ser colocadas sobre o solo, em local de fácil acesso e, se possível, junto às colunas, para facilidade de suporte; podem também ser instaladas sobre plataformas elevadas, sempre em local de fácil acesso.

A Fig. 10.11 mostra todas essas recomendações sobre a disposição de tubulações em unidades de processo e a Fig. 10.13 é uma fotografia aérea de uma grande unidade de processo.

No Item 10.8, a seguir, trataremos do importante assunto da fixação das cotas de elevação de tubulações e de equipamentos, problema esse estreitamente ligado à disposição geral de tubulações e de equipamentos.

10.6 Arranjo de Tubulações Externas

As tubulações fora de áreas de processo são, em geral, dispostas formando grupos de tubos paralelos sobre suportes de pequena altura (dormentes), com a elevação de fundo dos tubos a pelo menos 0,3 m acima do solo (Fig. 10.14). Os grupos paralelos correm segundo uma das direções ortogonais de projeto, quase sempre ao longo de uma rua ou avenida. Onde houver necessidade de travessia de pessoas sobre os tubos, deve ser construída uma plataforma, que também pode servir para a manobra de válvulas.

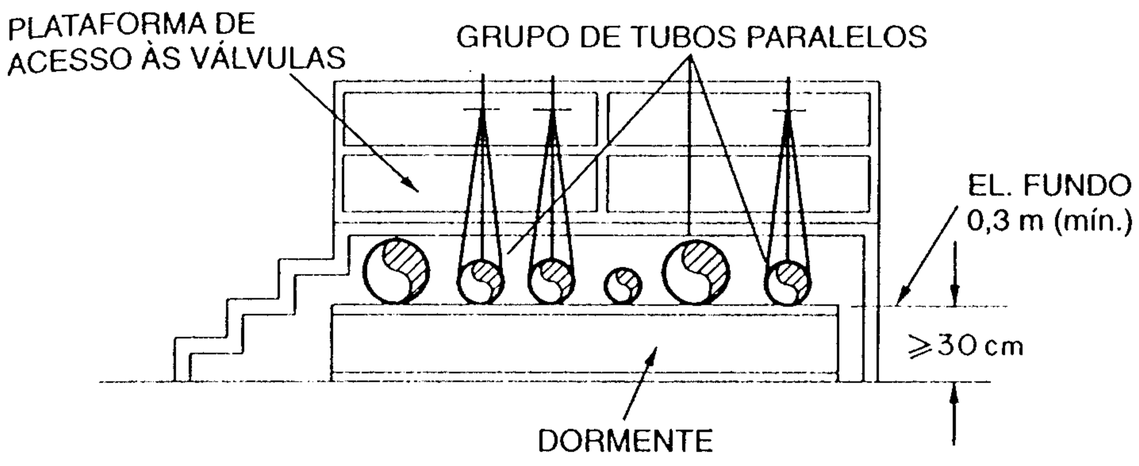


Fig. 10.14 Tubulações acima do solo.

Quando existirem ruas transversais para tráfego de veículos — o que ocorre quase sempre —, a solução mais usual consiste em colocar o grupo paralelo de tubos abaixo do nível do piso, dentro de uma trincheira (pipe way), denominada comumente de tubovia, como mostra a Fig. 10.15. Os lados da trincheira poderão ser taludes de terra compactada ou paredes de concreto armado. Com esse tipo de construção, as tubulações podem permanecer em nível, sem pontos altos ou pontos baixos, e o cruzamento do tráfego é feito, também em nível, por meio de pontilhões por cima das tubulações. Para não criar graves problemas de drenagem, as trincheiras devem ter a profundidade mínima possível. Essa profundidade deve ser entretanto suficiente para:

— Permitir a construção dos pontilhões sobre a tubulação de maior diâmetro.

— Permitir que uma derivação saindo da tubulação de maior diâmetro possa passar por baixo da rua (veja Fig. 10.23, Item 10.8).

Os pontilhões devem ter placas removíveis, devendo a altura livre sob os pontilhões ser de pelo menos 1,50 m, para permitir o acesso de pessoas para a pintura e manutenção das tubulações; voltaremos a esse ponto no Item 10.8. Os dormentes não devem ocupar toda a largura da trincheira, deixando valetas de drenagem nas margens. A elevação de fundo das tubulações deve ser também de 0,3 m, no mínimo, acima do fundo da trincheira (veja Fig. 10.23).

As trincheiras com larguras de até 15 m são em geral dispostas na margem de uma rua; para larguras maiores deve-se colocar a trincheira no centro da rua, ficando as pistas de mão e contramão da rua de cada lado da trincheira, para facilitar o acesso para montagem e manutenção das tubulações.

O arranjo das tubulações nos suportes deve atender aos pontos já referidos no Item 10.2.6, devendo-se deixar livres as faixas de terreno correspondentes aos pilares de suporte dos pontilhões de travessia sobre as tubulações.

A Fig. 10.16 mostra um arranjo típico de tubulações no ponto de passagem de fora para dentro de uma área de processo, isto é, onde as tubulações passam da trincheira para os suportes elevados, na área de processo, ou vice-versa. É usual trazer-se as tubulações em uma canaleta, coberta com placas removíveis, perpendicular à trincheira principal, até o limite da área de processo, onde as tubulações terão trechos verticais para atingir a elevação dos suportes de pórtico dentro da área. As válvulas de bloqueio, no limite da área, são colocadas no trecho vertical das tubulações, em altura que permita fácil operação.

A Fig. 10.17 e a figura da capa deste livro mostram tubovias principais em refinarias de petróleo, vendo-se as

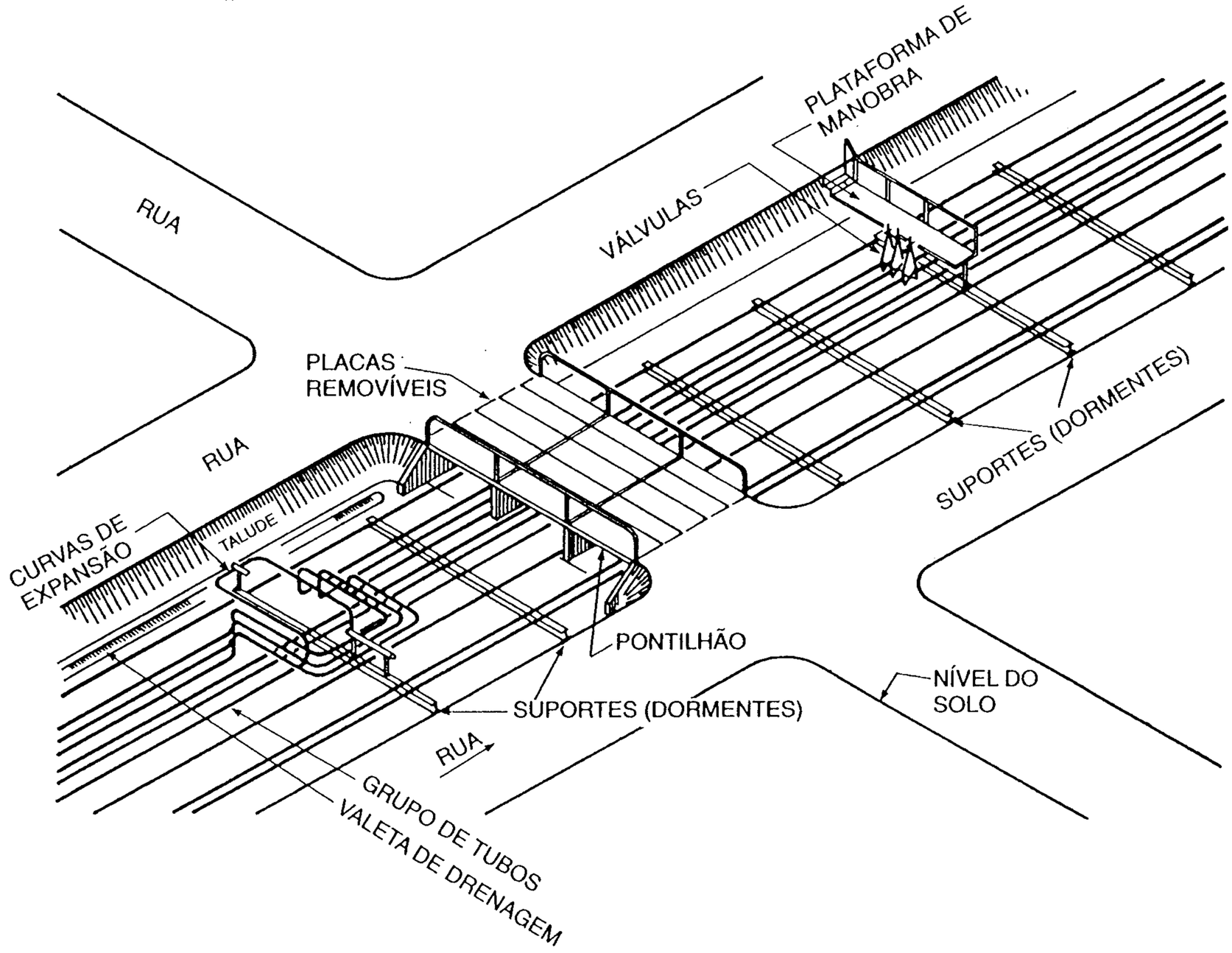


Fig. 10.15 Grupo de tubos dentro de uma trincheira (veja também Fig. 10.23).

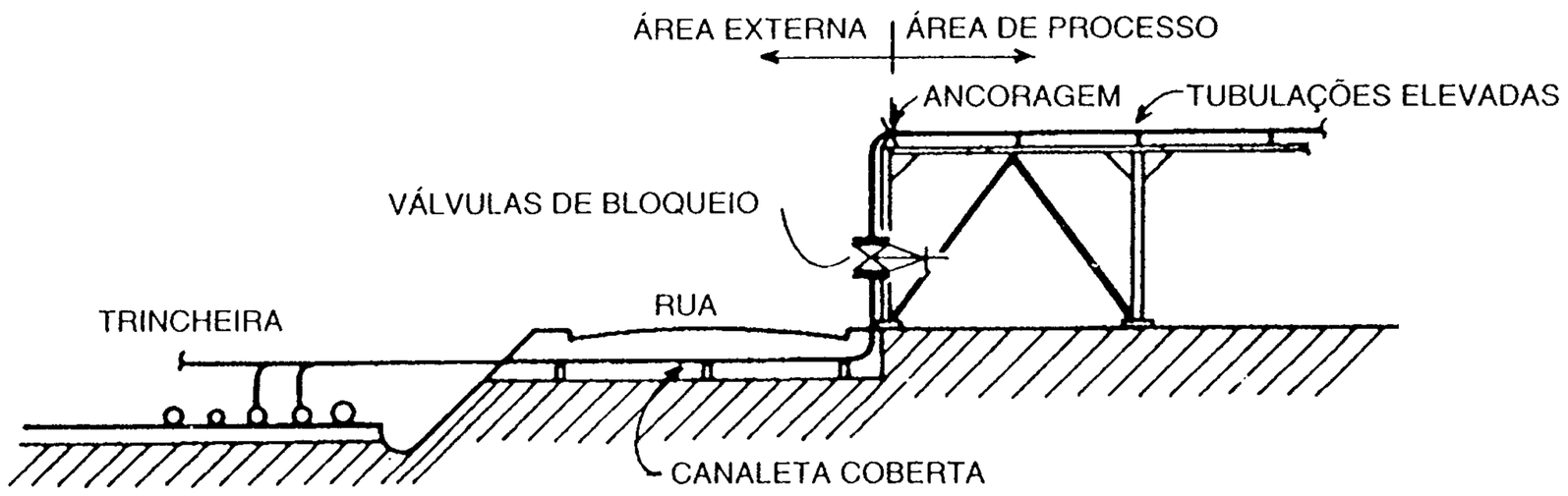


Fig. 10.16 Passagem de tubulações de fora para dentro de áreas de processo.

tubulações transversais de entrada para uma unidade de processo, que também é vista ao lado da tubovia.

Quando existirem apenas tubulações de pequeno diâmetro (até 3″, por exemplo), pode-se fazer, com vantagem, os tubos correrem a uma altura do solo que permita o tráfego por baixo. A altura livre mínima quando há tráfego de veículos é de 4,80 a 6,00 m, quando só há tráfego de pessoas essa altura pode ser reduzida para 2,40 m. As tubulações serão suportadas por estruturas de treliça, tipo ponte, vencendo grandes vãos (Fig. 10.18). Não podem ser colocadas em posição elevada tubulações de sucção de bombas, a não ser que o reservatório de sucção esteja também elevado.

Outra solução que pode ser adotada para a travessia de grandes vãos com tubos leves, é a sustentação por meio de cabos-catenária, formando como se fosse uma ponte pênsil.

Para tubulações individuais de pequeno diâmetro ou mesmo para pequenos grupos de tubos leves, é geralmente econômico fazer-se o traçado de forma a permitir que os tubos sejam suportados por prédios, paredes, vasos ou outras estruturas existentes, para evitar a necessidade de construção de suportes e fundações próprios, ainda que assim se aumente o comprimento das tubulações.

10.7 Facilidades para Montagem, Operação e Manutenção

Em qualquer projeto é muito importante que sejam previstas as devidas facilidades para a montagem e para a futura operação e manutenção da instalação. Para isso, o projetista deve procurar se colocar no papel do montador e de quem irá operar e fazer a manutenção, para verificar se o que está sendo projetado permite que todas essas atividades sejam realizadas com o máximo de facilidade, segurança e economia. Não são raros os casos de projetos em que o montador se vê obrigado a introduzir modificações, porque determinados detalhes são muito difíceis, ou até impossíveis, de construir tal como está no projeto, ou ainda instalações cuja operação e manutenção são difíceis, perigosas, ou caras, devido a erros de projeto. Isso tudo evidentemente não deve acontecer!

Vamos ver, a seguir, algumas recomendações relativas a esses importantes aspectos.

1. *Tubos de ligações aos equipamentos* — Os tubos de ligação a qualquer equipamento que possa necessitar ser

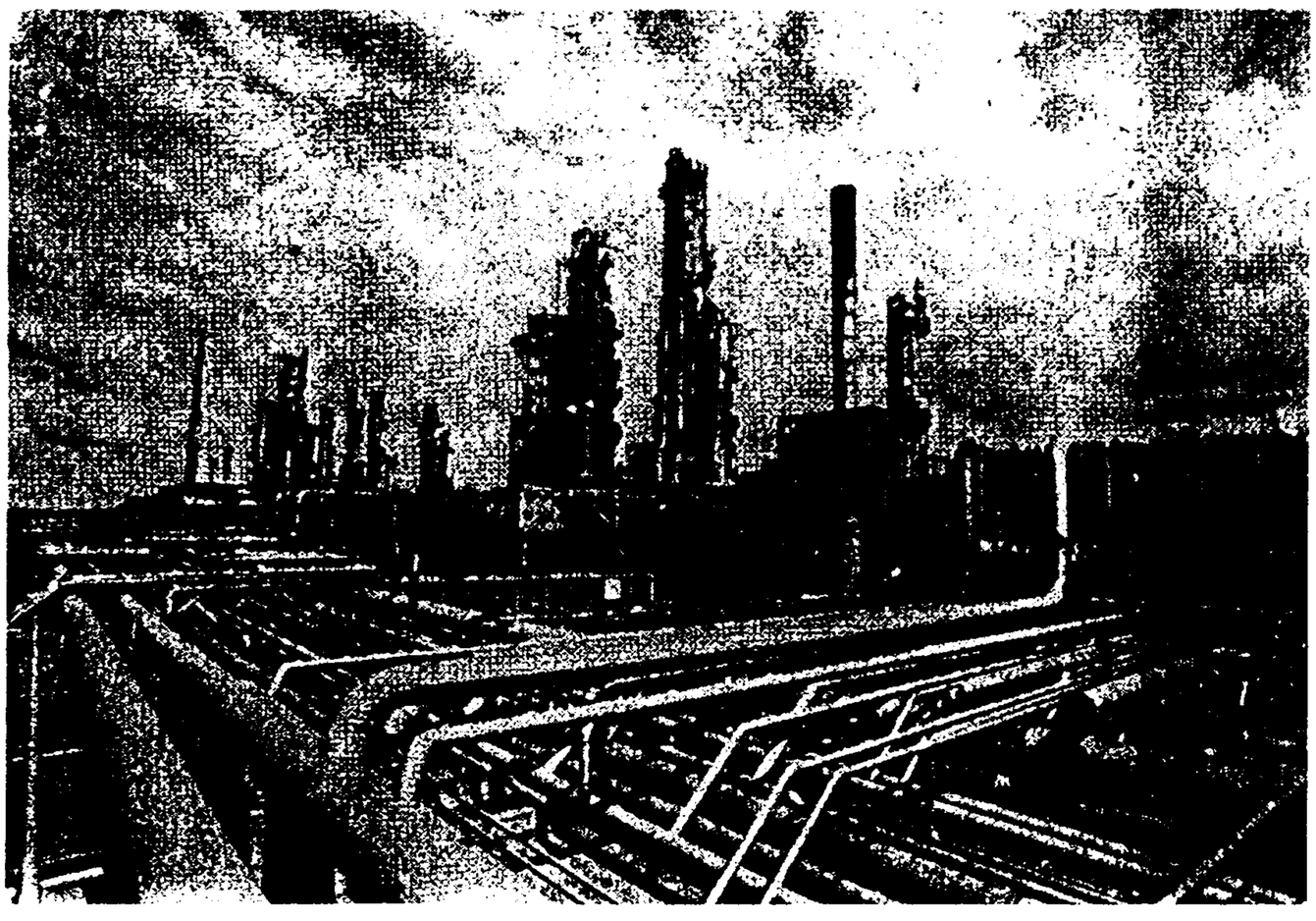


Fig. 10.17 Tubovia principal da Refinaria Gabriel Passos. [Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS — (Fototeca).]

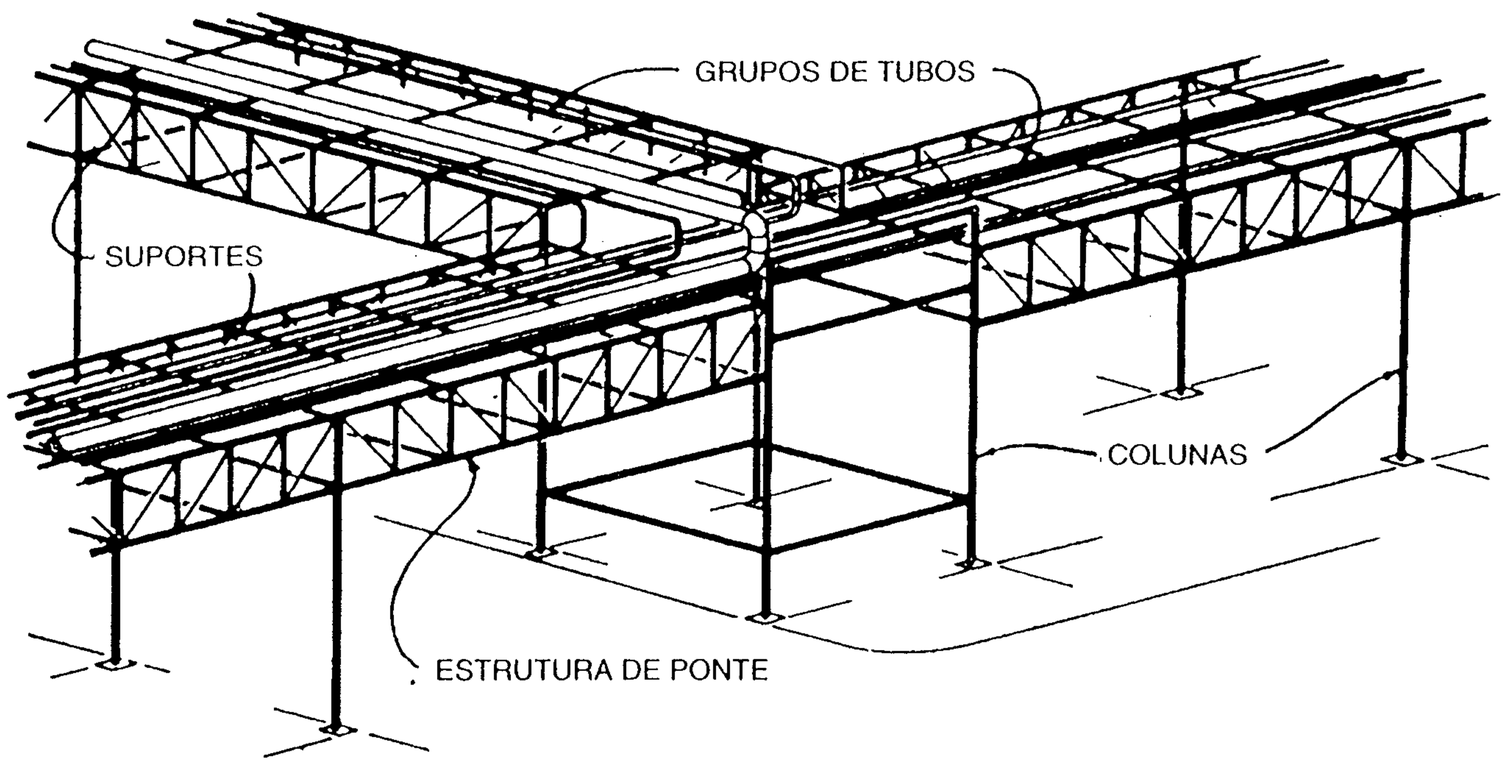


Fig. 10.18 Suportes de treliça para tubos elevados.

desmontado ou removido periodicamente (bombas, compressores, turbinas, filtros etc.) devem ser dispostos de forma a deixar livres os espaços necessários para a desmontagem e remoção, e sempre também o espaço acima do equipamento para permitir a manobra dos aparelhos de elevação de pesos. Quando as tubulações são elevadas (como geralmente acontece nas áreas de processo), os ramais de ligação aos equipamentos costumam descer verticalmente direto sobre os bocais, como já referido no Item 10.5, deixando livre toda a área em volta do equipamento. Quando as tubulações estão a pequena altura, os ramais de ligação são tubos horizontais dispostos de tal forma a deixar dois ou três lados do equipamento inteiramente livres, como mostra o exemplo da Fig. 12.2, no Cap. 12.

Os tubos de ligação aos equipamentos, principalmente no caso de máquinas grandes e pesadas, devem ter, sempre que possível, uma peça flangeada, junto ao bocal do equipamento, que possa ser removida antes da remoção do próprio equipamento, para facilitar essa operação. Essa peça flangeada pode ser uma redução, uma válvula, ou um carretel — pequeno trecho de tubo com um par de flanges (Fig. 10.19).

É importante também que as tubulações sejam suportadas de tal forma que o equipamento possa ser desmontado ou removido, sem que haja necessidade de desmontar as tubulações ou de providenciar escoramentos provisórios para os tubos ligados ao equipamento.

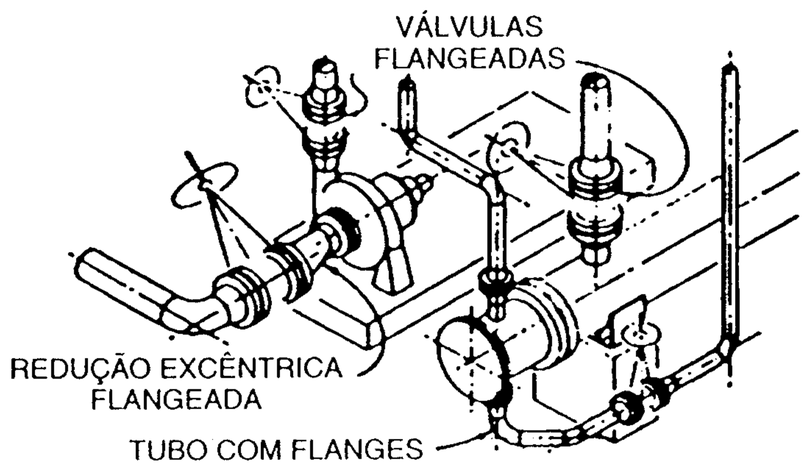


Fig. 10.19 Peças flangeadas removíveis para ligação com equipamentos.

Para todas as bombas, compressores, turbinas, máquinas em geral e demais equipamentos em que haja necessidade de presença contínua ou eventual do operador, deve ser deixado completamente livre o espaço necessário para o acesso e trabalho do operador.

Todas as recomendações acima aplicam-se não só às tubulações principais que devam ser ligadas às máquinas como também às tubulações auxiliares e secundárias, tais como as tubulações de resfriamento, de lubrificação de gaxetas e mancais, de aquecimento etc.

Como regra geral pode-se dizer que sempre deve ser previsto um meio fácil de desmontagem e remoção de qualquer máquina, sem ser preciso desmontar a própria linha ou as linhas próximas.

2. *Operação de válvulas e instrumentos* — Todas as válvulas, instrumentos e equipamentos que tenham operação e/ou manutenção, devem ter acesso fácil, do solo, ou de algum piso, estrutura, plataforma, escada etc.

Para as válvulas de operação manual, em tubos horizontais, a altura ideal do volante é de 1,0 m, acima do piso; para as válvulas em tubos verticais a altura ideal da haste é de 1,3 m, acima do piso, admitindo-se válvulas com a haste até a 2,10 m de altura, principalmente quando de pequeno diâmetro e de operação não freqüente; veja a Fig. 10.21, a seguir.

Para as válvulas fora do alcance do operador (com a haste a mais de 2,10 m de altura, por exemplo), há os recursos do volante com corrente ou de haste de extensão, como já referido no Cap. 4; a corrente da válvula deve ficar a 1,0 m acima do piso. As válvulas com corrente ou com haste de extensão, são sempre de operação mais difícil, não se recomendando para os casos de operação freqüente. Para as válvulas com diâmetro inferior a 2″, não é possível o uso de correntes, sendo que o único recurso prático são as hastes de extensão.

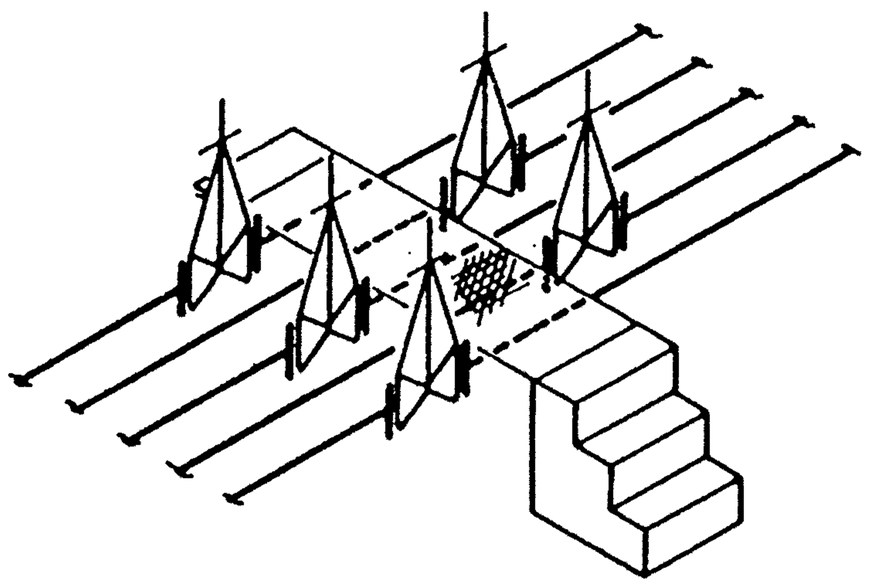


Fig. 10.20 Plataforma de operação para válvulas.

Em todas as válvulas de operação manual deve ser deixada uma folga livre mínima de 150 mm, em toda volta do volante, para as mãos do operador. Para as válvulas operadas por alavanca (macho, esfera, borboleta etc.), deve-se verificar se o curso completo da alavanca não interfere com algum obstáculo.

No caso de um grupo de tubulações paralelas a pequena altura, é muito prático colocar todas as válvulas próximas entre si, de forma que possam ser operadas de uma plataforma sobre os tubos, que serve também como meio de travessia, como mostra a Fig. 10.20. Essa disposição é muito usual em casas de bombas (Fig. 12.2) e em tubulações ligadas a um tanque. Para que seja possível manter as distâncias mínimas entre os tubos, as válvulas em tubulações vizinhas devem estar alternadamente de um lado e do outro da plataforma, como na Fig. 10.20.

Não é, em geral, necessário prever acesso permanente para pequenas válvulas, raramente operadas, tais como drenos e respiros em tubulações elevadas.

As válvulas que devam ser operadas em situação de emergência de uma instalação, devem ser colocadas em lugar bem visível, de fácil acesso, e também seguro para abandono, caso necessário.

A altura ideal para instrumentos de leitura local é de 1,5 m acima do piso de operação.

3. *Facilidades para desmontagem* — Além das recomendações que já vimos acima, devem sempre ser previstos espaço e possibilidade de desmontagem dos equipamentos, válvulas, instrumentos e outras peças que periodicamente necessitem de manutenção (lubrificação, reengaxetamento etc.) ou remoção.

Salvo em casos excepcionais (por exemplo: tubulações para fluidos muito viscosos ou sujos, que deixem sedimentos ou depósitos, necessitando de desmontagem para a limpeza ou desobstrução), não é geralmente necessário prever meios de desmontagem das tubulações em si, porque tais desmontagens raramente ocorrem na prática. É necessário, entretanto, que sejam sempre deixados espaço suficiente e meios de acesso para permitir a remoção e a colocação dos parafusos e juntas em todas as ligações flangeadas. Recomenda-se para isso deixar uma folga livre mínima de 70 mm entre um flange e qualquer obstáculo (coluna, estrutura, piso etc.); essa observação é importante principalmente nos locais congestionados.

O detalhamento das tubulações deve ser feito também de forma que os flanges não fiquem suportando o peso dos tubos, para que seja possível trocar uma junta sem ser preciso fazer escoramentos provisórios, ou desmontar tudo.

4. *Posição de soldas e de roscas* — Em qualquer projeto deve-se estudar a localização de cada solda para verificar se há acesso, e se há espaço suficiente para permitir a execução da solda sem dificuldade, principalmente no caso de soldas verticais ou sobrecabeça. Essa observação é particularmente importante em arranjos muito compactos, em locais congestionados, ou com materiais difíceis de soldar.

Em tubulações de 3″ ou mais de diâmetro, não convém que existam duas soldas a menos de 50 mm de distância uma da outra, para diminuir os efeitos de tensões residuais de soldagem e de superposição de zonas termicamente afetadas do material, que resultariam de soldas muito próximas. Para tubulações de menor diâmetro é freqüentemente impraticável guardar essa distância mínima entre as soldas; não se deve, entretanto, em nenhum caso, ter soldas com menos de 20 mm uma da outra.

Em tubulações ou peças rosqueadas deve-se também estudar, para cada rosca, a possibilidade física de atarraxar e desatarraxar, levando-se em conta o espaço livre que deve haver para a movimentação da chave.

10.8 Fixação de Cotas de Elevação de Tubulações e de Equipamentos

A fixação das cotas de elevação das tubulações e dos equipamentos é uma das etapas mais importantes do detalhamento de um projeto de tubulações. Como regra geral, com a finalidade de reduzir o custo global das instalações, todas as cotas de elevação devem ser as menores possíveis, compatíveis com as necessidades de operação e com as folgas e alturas livres que devem ser deixadas, como veremos a seguir.

Para a fixação dessa cotas, o primeiro passo é estudar cuidadosamente quais os elementos do sistema (equipamentos e tubulações) que devam ficar em posição superior ao outro, ou vice-versa. Serão verificados, por exemplo, os vasos entre os quais houver fluxo por gravidade, as bombas que devam ter sucção afogada, as tubulações que necessitam de declividade contínua etc. As tubulações de saída de vasos de acumulação de condensado, por exemplo, trabalham em geral com líquidos em temperatura próxima à ebulição, sendo necessária por isso uma boa diferença de cotas para garantir o NPSH da bomba. Verificam-se, também, quais os equipamentos ligados à rede de tubulações, que podem ser colocados sobre bases com altura mínima, sem prejuízo do funcionamento. Como já vimos no Item 9.3, sempre que possível, o maior número de equipamentos deve ser assentado sobre essas bases com altura mínima.

Passa-se em seguida à fixação das cotas de elevação, começando-se sempre de baixo para cima. As elevações

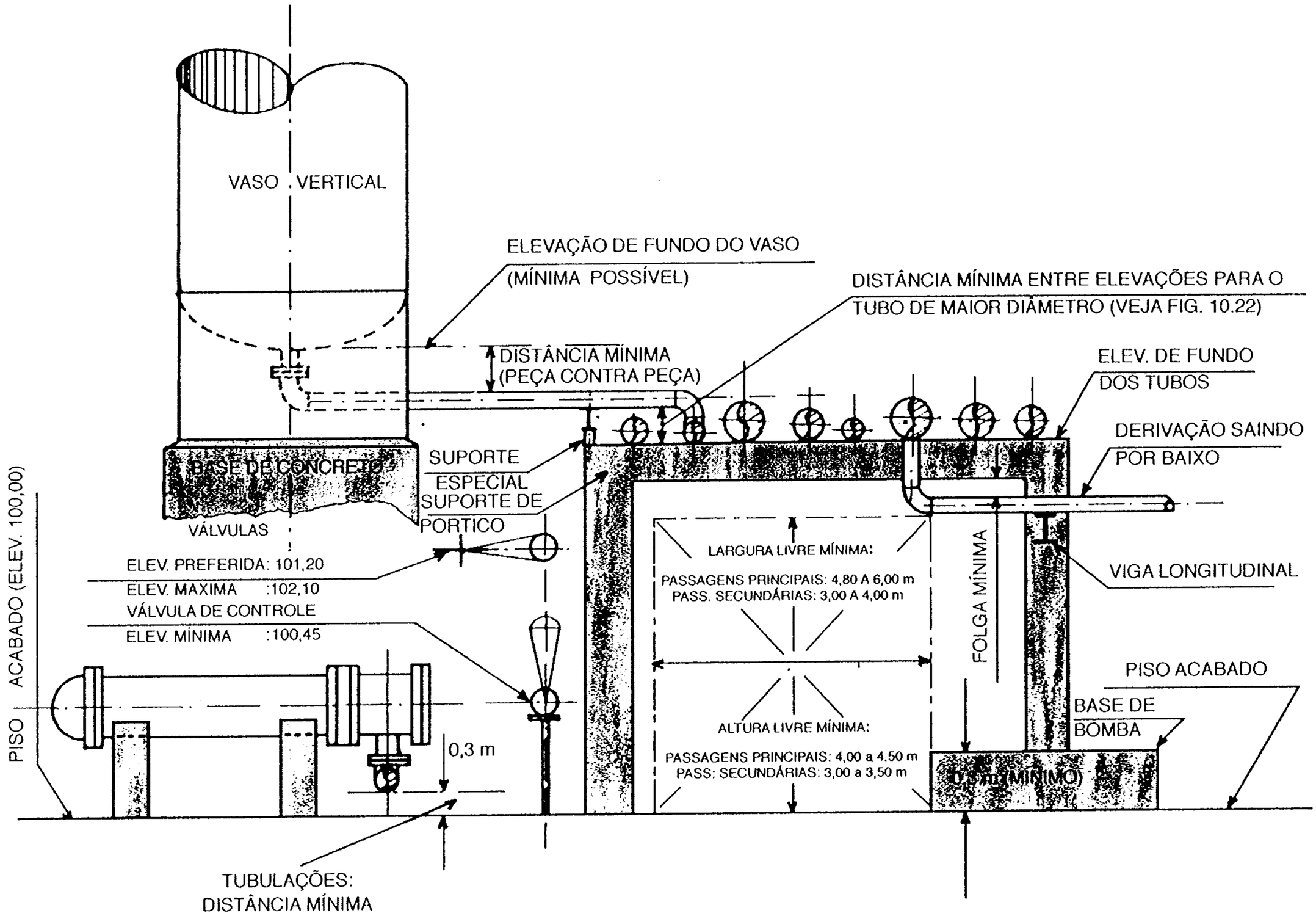


Fig. 10.21 Níveis recomendados em áreas de processo.

mais baixas são estabelecidas em função da posição dos bocais dos equipamentos colocados sobre bases com altura mínima. A distância mínima de qualquer tubulação acima do piso (elevação de fundo) deve ser de 0,30 m, inclusive para as tubulações saindo pela parte inferior de vasos e equipamentos, como mostra a Fig. 10.21. Os drenos e purgadores nos pontos baixos das tubulações podem ficar a uma distância mínima de até 0,15 m do piso. Caso necessário, aumenta-se a altura das bases dos equipamentos, para que essas condições sejam satisfeitas.

Fixadas as elevações mais baixas, calculam-se, a partir dessas, todas as outras elevações, em função das posições relativas dos equipamentos e das dimensões das curvas, "Tês", válvulas e outras conexões da tubulação (somando-se às alturas de peça por peça), procurando-se, no final, que todas as elevações resultem as menores possíveis.

Em áreas de processo é sempre necessário colocar alguns vasos e outros equipamentos sobre bases elevadas por um ou mais dos seguintes motivos:

— Permitir que a tubulação que sai pelo fundo do vaso possa correr sobre os suportes elevados das pontes de tubulação.

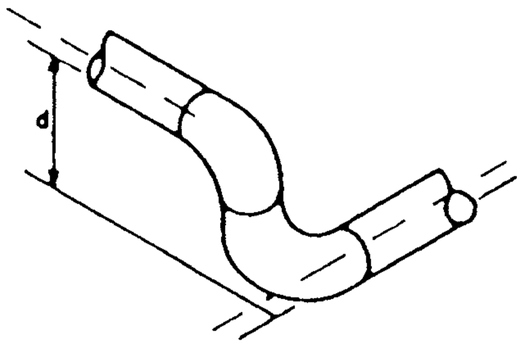
— Permitir que tubulações, em geral, fiquem com a elevação mínima de 2,10 m acima do piso, para deixar livre o tráfego de pessoas.

— Permitir o fluxo por gravidade ou por termo-sifão.

— Dar o NPSH necessário em linhas de sucção de bombas.

A Fig. 10.21 mostra alguns valores recomendados de folgas e de elevações em áreas de processo, tomando-se por base o nível do piso acabado, como sendo elevação 100,00. Pela figura vê-se também como é possível determinar-se a elevação dos tubos colocados sobre os suportes de pórtico, a partir da altura livre que deve ser deixada sob os pórticos. Da mesma forma, vê-se como é possível chegar-se à elevação de fundo de um vaso, a partir da elevação das tubulações situadas sobre os suportes de pórtico.

A distância vertical entre tubulações em direções diferentes, para permitir o cruzamento de uma sobre as outras, ou para possibilitar derivações, deve ser a mínima estritamente necessária. Essa distância mínima é a que resulta da colocação de dois joelhos de 90°, um em seguida do outro, ambos do maior diâmetro que houver no grupo paralelo de tubos, como mostra a Fig. 10.22. Essa distância deverá ser devidamente aumentada, quando existirem



d: DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE ELEVAÇÕES

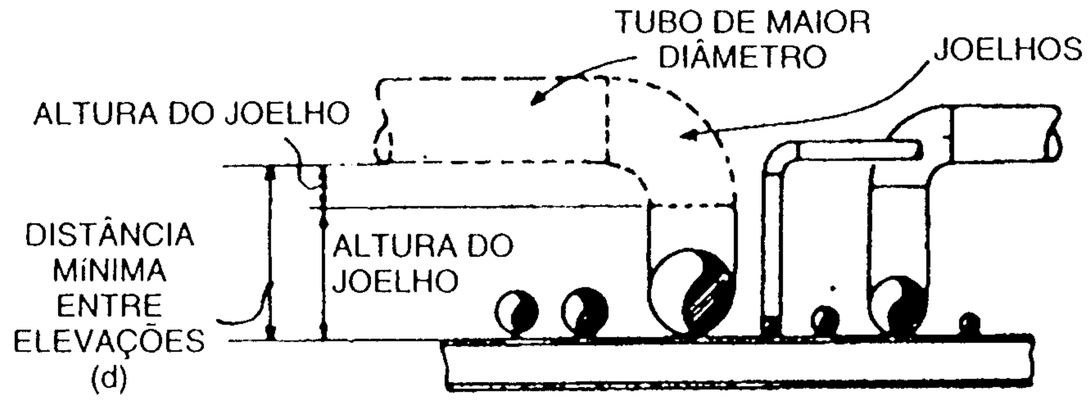


Fig. 10.22 Distância mínima entre elevações para cruzamentos.

tubos com isolamento térmico externo, ou quando houver previsão da instalação futura de um tubo paralelo de maior diâmetro.

Na Fig. 10.23 estão algumas folgas e elevações recomendadas para um grupo de tubos paralelos em uma trincheira, de forma a permitir a construção de um pontilhão de cruzamento sobre os tubos, e também a construção de derivações passando em canaletas sob o leito da rua. Observe-se que, como regra básica, a profundidade final da trincheira deve ser sempre a mínima possível.

10.9 Detalhes de Tubulação

Damos a seguir uma série de recomendações sobre detalhes do projeto, que devem, em princípio, ser obedecidas no detalhamento de tubulações industriais.

1. *Drenos e respiros* — Em todos os pontos baixos de qualquer tubulação deve haver sempre uma pequena derivação com válvula para a drenagem dos tubos (drenos), como mostra a Fig. 10.24. Da mesma forma, em todos os pontos altos deve também haver uma pequena derivação com válvula, que são os respiros (vents).

Denomina-se de "ponto baixo", um trecho de tubo, qualquer que seja o seu comprimento, em cota de nível inferior aos trechos adjacentes. Reciprocamente, "ponto alto" é um trecho em cota de nível superior aos adjacentes.

Os drenos são indispensáveis não só para esvaziar completamente a tubulação quando necessário, como também para esvaziar a água do teste hidrostático, que deve ser feito após a montagem ou após qualquer reparo ou modificação na tubulação (veja Cap.15). Os respiros têm por finalidade admitir o ar, quando se esvazia a tubulação, evitando a formação de vácuo, e expelir o ar quando se enche a tubulação. Por esses motivos, tanto os drenos como os respiros são obrigatórios em *todas* as tubulações, para líquidos ou para gases, quaisquer que sejam o seu diâmetro, material ou finalidade.

Além dos pontos baixos, há também necessidade de colocação de um dreno acima de qualquer válvula de retenção situada em tubos verticais, para permitir o esvaziamento da tubulação.

Nas tubulações de aços e de outros metais soldáveis, os drenos e respiros consistem, quase sempre, em uma luva (soldada diretamente ao tubo), em um niple e em uma válvula de bloqueio (Fig. 10.25). Dependendo do sistema de ligações que se permite na tubulação, a luva e a válvula serão rosqueadas ou para solda de encaixe. A válvula poderá ser de gaveta (para líquidos em geral), de macho (para gases), ou de esfera (para gases e para serviços corrosivos). Coloca-se geralmente um bujão rosqueado fechando o extremo livre da válvula, para evitar possíveis vazamentos bem como a entrada de poeira e detritos na válvula.

Para serviços de alto risco (hidrogênio e fluidos tóxicos, por exemplo), assim como para tubulações de classe de pressão 900#, ou mais altas, recomenda-se que os drenos e respiros sejam flangeados e fechados por um flange cego, sem válvulas.

Em tubulações para gases liquefeitos sob pressão, os drenos e também os respiros devem ter duplo bloqueio, com um trecho de tubo entre as duas válvulas (Fig. 10.25*b*), para permitir o fechamento, caso a válvula extrema fique con-

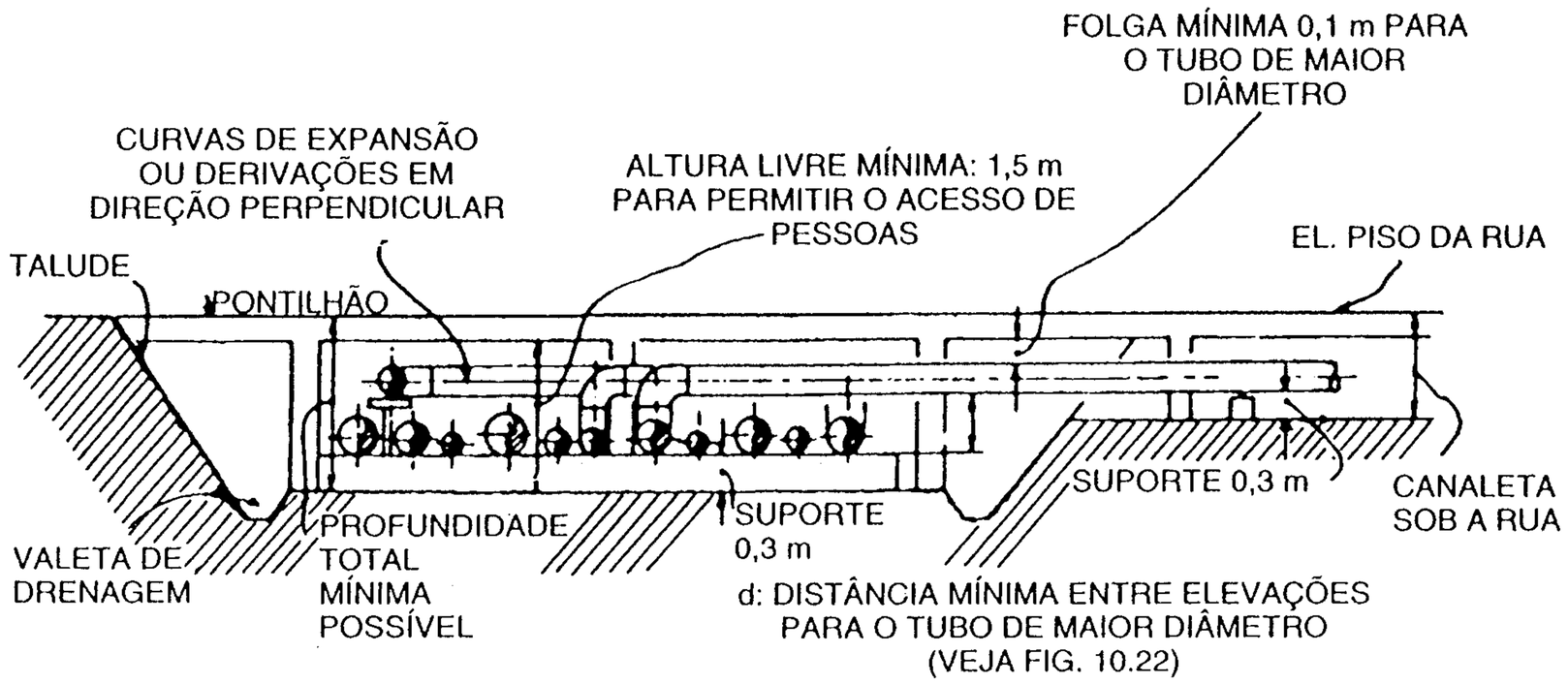


Fig. 10.23 Níveis recomendados para tubulações em trincheiras.

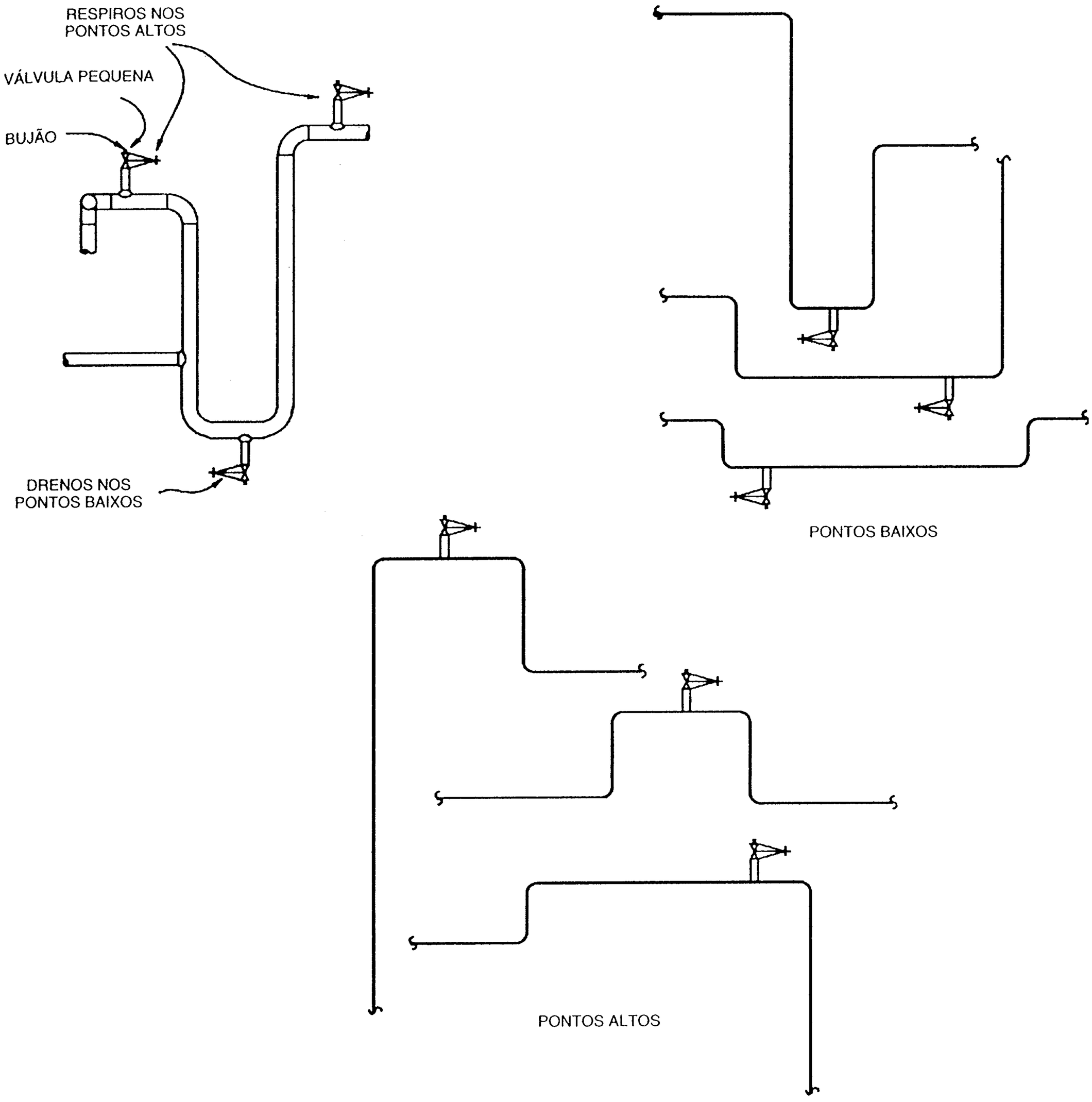


Fig. 10.24 Drenos e respiros.

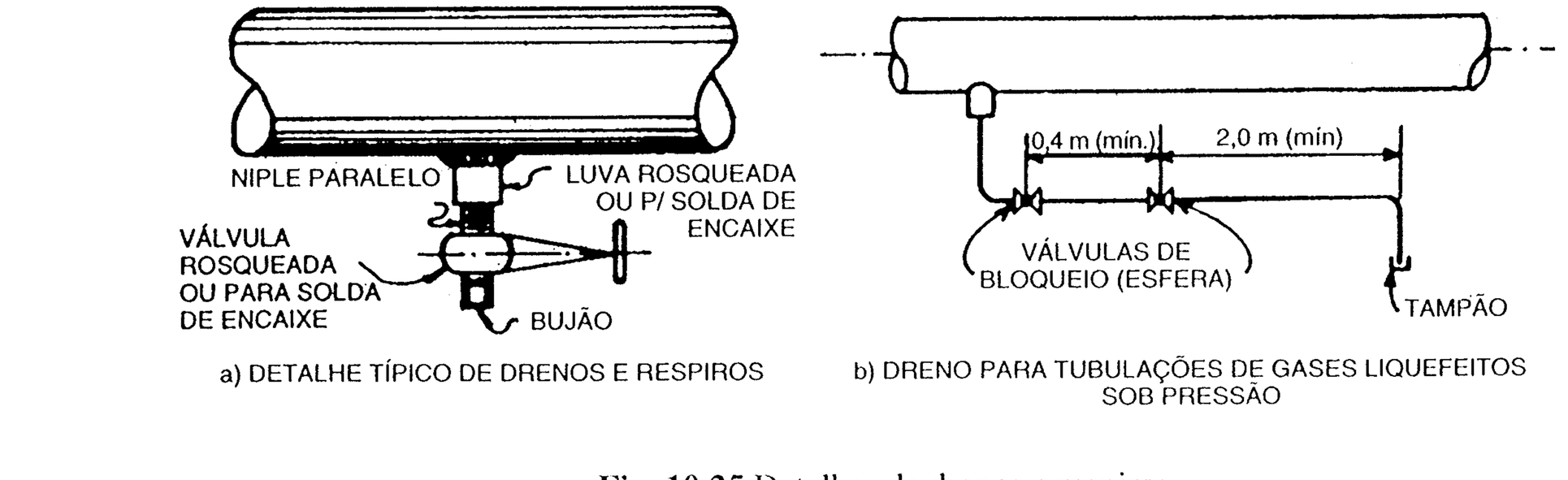


Fig. 10.25 Detalhes de drenos e respiros.

gelada em conseqüência da descompressão súbita do gás para a atmosfera. O duplo bloqueio pode também ser recomendado, como medida de segurança, em tubulações para quaisquer fluidos muito perigosos.

O diâmetro mínimo dos drenos e respiros é de ¾"; para tubulações de 30", ou maiores, e também para líquidos viscosos ou que deixem depósitos sólidos, os drenos e respiros devem ter maior diâmetro, até 1 ½".

Nas tubulações onde seja necessário empregar ventosas para evitar a formação de vácuo, essas válvulas devem ser colocadas nos pontos altos, associadas aos respiros.

2. *Curvas de tubos curvados* — As mudanças de direção em tubulações podem ser feitas por encurvamento do próprio tubo, sem o uso dos acessórios especiais vistos no Cap. 5. Comparando-se uma curva feita com o próprio tubo curvado com uma curva ou joelho convencionais, vê-se que o tubo curvado apresenta menor perda de carga, menor desgaste por corrosão e erosão, menor risco de vazamentos, e freqüentemente também menor custo; por esse motivo as curvas de tubo curvado são muito recomendáveis, sempre que for possível o seu emprego. Em compensação, essas curvas ocupam geralmente maior espaço e a sua qualidade nem sempre é satisfatória, porque depende essencialmente dos cuidados de fabricação e inspeção.

Pelos processos convencionais de encurvamento, o raio mínimo de curvatura da linha de centro do tubo é da ordem de 5 vezes o seu diâmetro. Com encurvamento por alta freqüência, esse raio mínimo poderá chegar a 2 vezes o diâmetro, para tubos de qualquer diâmetro, e até 1,5 vez, para diâmetros pequenos; como esse raio mínimo depende do diâmetro e da espessura do tubo, para obter-se valores exatos, devem ser consultados os catálogos dos fabricantes.

Podem-se curvar tubos de aço de qualquer tipo (aços-carbono, aços-liga e aços inoxidáveis) e de qualquer diâmetro; entretanto, para diâmetros acima de 8", praticamente só é viável o encurvamento por alta freqüência, o que limita o uso desse recurso. Para o diâmetros até 2", o encurvamento pode ser feito a frio, com facilidade, em qualquer tipo de aço, devendo-se preferir os aços de baixo carbono (Grau *A*); os tubos de maior diâmetro só podem ser curvados a quente.

Como regra geral, o detalhamento das tubulações de qualquer aço com diâmetro até 2" deve ser feito sempre que possível, de forma a permitir o emprego de curvas de tubo curvado, que devem ser usadas de preferência.

No plano horizontal quase sempre se consegue deixar espaço suficiente: no plano vertical, entretanto, freqüentemente não é possível devido à exigüidade das diferenças de cotas disponíveis. Em tubos de maior diâmetro as curvas de tubo curvado podem ser adotadas quando as condições de espaço e de disponibilidade de equipamento para curvar permitirem.

Para os tubos de aços inoxidáveis, o encurvamento a quente (tubos de mais de 2") só deve ser feito por alta freqüência, porque os outros processos podem sensitizar o material, prejudicando gravemente a sua resistência à corrosão. O encurvamento por alta freqüência não causa sensitização devido ao tempo muito curto de aquecimento. Para os aços-carbono e aços-liga, qualquer processo de encurvamento a quente pode ser empregado sem inconvenientes. Voltaremos a esse assunto no Item 15.2.

Podem ainda ser encurvados com facilidade tubos de metais não-ferrosos e tubos de materiais termoplásticos.

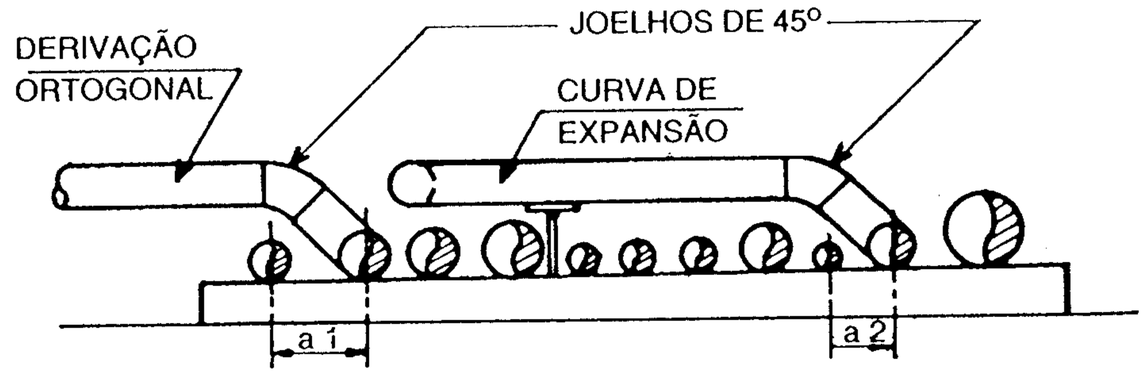
A norma ASME B.31 (Seções 1 e 3) permite o emprego de tubos curvados para quaisquer condições de serviço desde que as tolerâncias de ovalização e de adelgaçamento das paredes estejam dentro dos limites admitidos (veja Item 15.2), fazendo-se restrições apenas às curvas em que a parte interna fique corrugada.

3. *Emprego de curvas de 45°* — As curvas e joelhos de 45° devem ser preferidas para as mudanças de elevação em derivações e em curvas de expansão em tubulações horizontais, como mostrado na Fig. 10.26. Note que esse recurso obriga geralmente a aumentar um pouco a distância entre os tubos paralelos.

4. *Tipo das reduções* — Nas tubulações horizontais as peças de redução são em geral excêntricas, niveladas por baixo, para manter a mesma elevação de fundo dos tubos, simplificando assim os suportes. As reduções em linhas de sucção de bombas — colocadas, em geral, imediatamente antes do local da bomba — devem, porém, ser excêntricas, niveladas por cima, para evitar a formação de bolsas de ar. Fazem exceção a essa regra as reduções na entrada de bombas quando a linha de sucção é vertical, com o fluxo descendente, como é bastante usual em áreas de processo: nesse caso, as reduções, quando colocadas em posição horizontal, devem ser excêntricas, niveladas por baixo, para evitar a formação de uma bolsa de líquido difícil de drenar.

Em qualquer tubulação vertical as reduções costumam sempre ser concêntricas.

5. *Posição das válvulas* — Não se deve nunca colocar válvulas com a haste virada para baixo, porque resultaria em acumulação de detritos no castelo da válvula. Em linhas de sucção de bombas, quando possível, é preferível não haver válvulas com a haste para cima, para evitar a formação de bolsas de ar no castelo da válvula; nessas linhas a melhor posição para as válvulas é com a haste horizontal, ou inclinada para cima. Deve ser observado entre-



a1, a2: DISTÂNCIAS QUE DEVEM SER AUMENTADAS COM O USO DE JOELHOS DE 45°

Fig. 10.26

tanto que as válvulas com haste horizontal, além de serem geralmente de manobra mais difícil, podem obstruir as passagens de acesso e causar acidentes.

6. *Posição das derivações* — Nas tubulações horizontais para vapor, ar e quaisquer outros gases, todas as derivações devem sempre ser feitas na parte superior dos tubos, para evitar a saída de líquidos condensados ou de outros líquidos que possam haver nos tubos. Nas tubulações para líquidos não há nenhuma recomendação especial sobre a posição das derivações, exceto nas tubulações de água de resfriamento, onde são preferidas as derivações pelo fundo de uma linha tronco, para garantir o escoamento, mesmo que haja uma queda de pressão no sistema.

7. *Tubo de contorno com bloqueio* — As válvulas de controle, válvulas redutoras de pressão, filtros, medidores e alguns outros equipamentos cujo serviço possa ser temporariamente dispensado, devem ter um tubo de contorno (by-pass) com válvula de regulagem e válvulas de bloqueio, antes e depois, para que o equipamento possa ser retirado de operação sem ser necessário parar todo o sistema. Dessa forma pode-se, com facilidade, fazer a manutenção ou a substituição do equipamento, mantendo-se o sistema em operação. Em funcionamento normal, a válvula do contorno está fechada e as duas válvulas de bloqueio estão abertas. A Fig. 10.27 mostra uma instalação típica de válvula de controle com contorno e válvulas de bloqueio, denominada de "estação de válvula de controle". A distância entre a válvula de controle e o tubo de contorno deve ser amplamente suficiente para permitir a desmontagem da válvula de controle. O diâmetro da válvula de controle — determinado em função do Cv da válvula (veja Item 4.10) — será, em muitos casos menor do que o da tubulação, obrigando a colocação de reduções antes e depois da válvula.(*) Por motivo de economia, o tubo de contorno tem também geralmente diâmetro menor do que a tubulação principal.

8. *Tubulações de grande diâmetro* — Nas tubulações de diâmetro muito grande para líquidos (30″ ou mais), principalmente quando as velocidades são elevadas, a inércia da massa líquida em movimento pode atingir valores consideráveis, obrigando a cuidados especiais no detalhamento para diminuir os efeitos das variações de velocidade, mudanças de direção e tubilhonamentos. Por esse motivo as bifurcações são feitas com peças em "Y", as derivações são a 45° com o sentido do fluxo, e em todos os casos procura-se manter a velocidade do líquido o mais constante possível, por meio de peças de redução nos pontos onde houver grande variação de vazão. A Fig. 10.28 mostra todas essas particularidades das tubulações de grande diâmetro. Em tubulações para gases esses cuidados não são necessários — qualquer que seja o seu diâmetro —, porque a inércia de gases em movimento é muito pequena devido ao valor desprezível do peso específico.

(*) Para os diversos arranjos e respectivas dimensões das estações de válvulas de controle veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já citado.

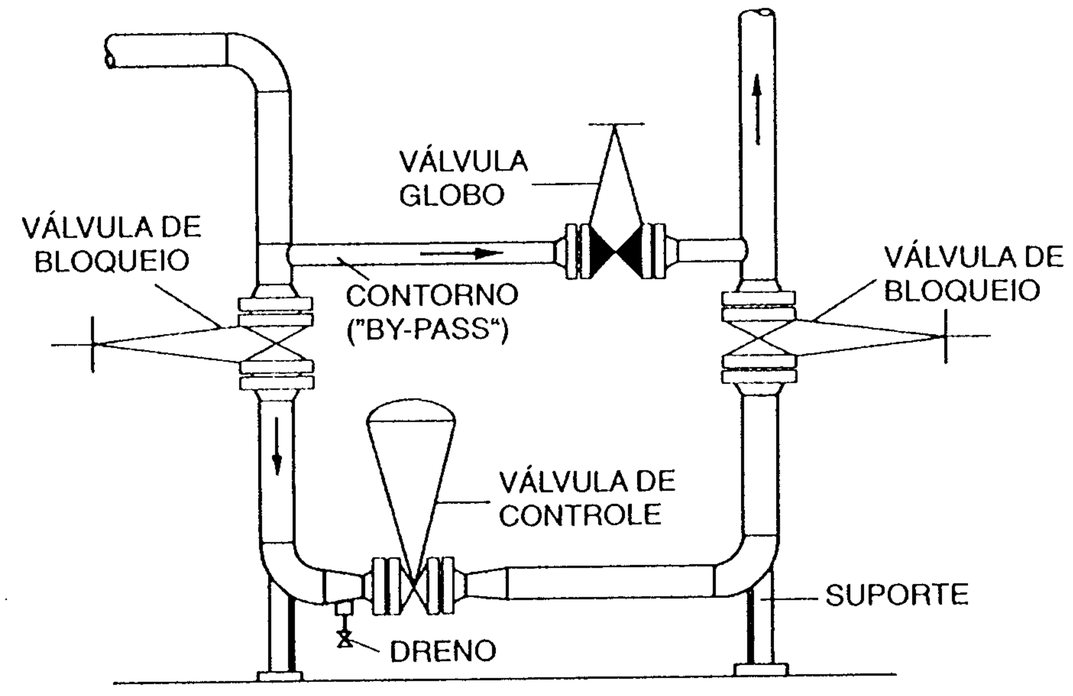


Fig. 10.27 Instalação de válvula de controle.

As derivações a 45° e as bifurcações em "Y" são usadas também quando há necessidade de reduzir ao mínimo as perdas de carga de escoamento do fluido, em tubulações de qualquer diâmetro e para qualquer fluido.

9. *Tubulações de pequeno diâmetro ou de materiais de baixa resistência* — As tubulações de diâmetro muito pequeno (até 2″), de quaisquer materiais, bem como as tubulações, de qualquer diâmetro, de materiais, de baixa resistência mecânica (materiais plásticos, ferro fundido, vidro etc.), quando conduzindo fluidos perigosos, devem ser mecanicamente protegidas ou colocadas de tal forma (na parte central das tubovias, por exemplo), que não fiquem em local exposto a acidentes, colisões etc., que poderão causar desastres graves.

10. *Válvulas de bloqueio nos limites das áreas e de propriedades* — Deve haver uma válvula de bloqueio próximo ao ponto em que qualquer tubulação atravessa o limite de uma área de processo ou o limite de propriedade.

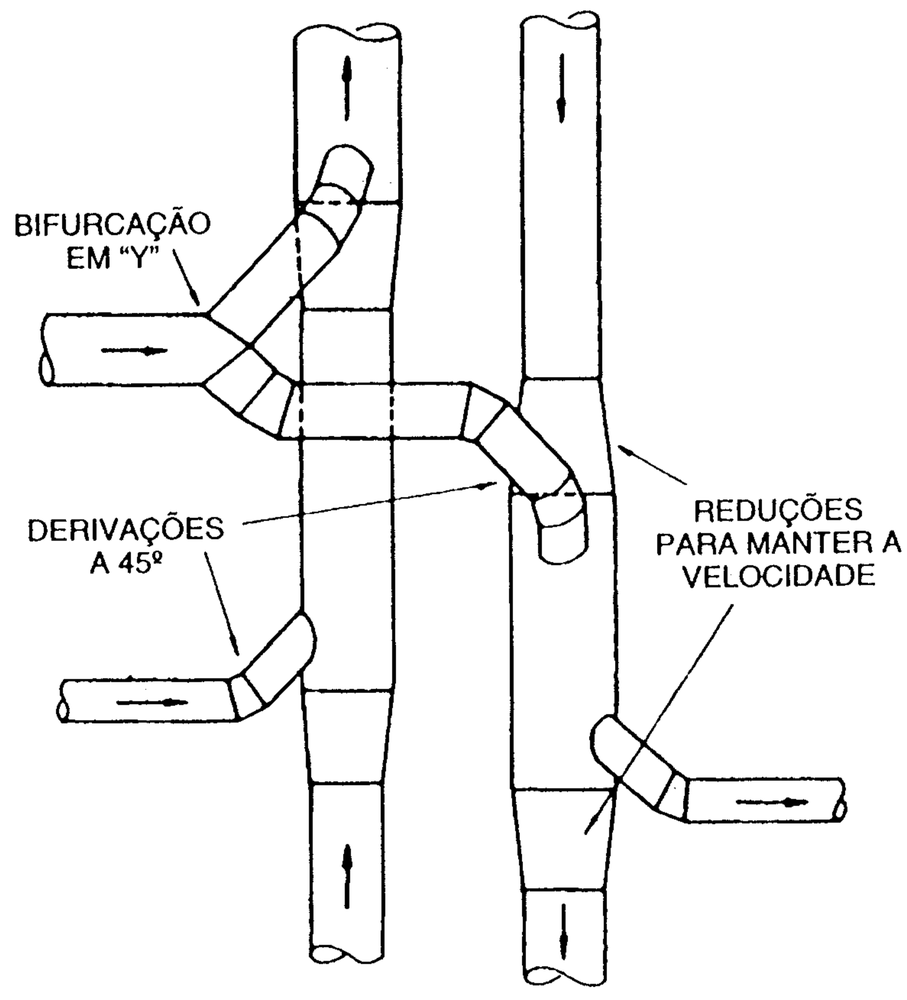


Fig. 10.28 Tubulações de diâmetro muito grande para líquidos.

Nos limites das áreas de processo, é usual, para facilitar a operação, colocarem-se essas válvulas nos trechos verticais, onde as tubulações sobem para os suportes elevados da área de processo (veja Fig. 10.15).

11. *Válvulas em extremidades livres* — As válvulas, situadas em extremidades livres de tubulações de fluidos de processo ou de vapor, devem ser fechadas com flanges cegos ou com bujões.

12. *Válvulas de segurança e de alívio* — A descarga de uma válvula de segurança é freqüentemente um perigoso e forte jato de gases quentes, inflamáveis, tóxicos etc. Por esse motivo, quando a descarga se dá para a atmosfera, deve ser tomado o devido cuidado ao detalhar a posição da válvula para que a descarga não cause danos a pessoas ou equipamentos que estejam próximos. As válvulas de segurança que descarregam para a atmosfera devem ficar a uma altura mínima de 20 m do solo, e pelo menos a 3 m acima de qualquer piso situado dentro de um raio de 8 m.

Para qualquer fluido perigoso, de um modo geral, é muito recomendável que a descarga das válvulas de segurança seja feita para uma rede fechada, conduzindo o fluido até local seguro. As linhas de descarga devem ter o mínimo de perdas de carga para não causarem contrapressão nas válvulas. Por essa razão devem ser as mais curtas possíveis, com o mínimo de acidentes, e em geral de maior diâmetro do que o bocal de saída da válvula. Essas linhas não devem ter pontos baixos que poderiam causar acumulação de líquidos.

Para as válvulas de alívio, como a descarga é sempre um jato líquido de reduzidas proporções, a solução usual é dirigir-se essa descarga para o solo ou para a rede de drenagem.

13. *Alívio de pressão em linhas bloqueadas* — Em trechos de tubulação compreendidos entre duas válvulas de bloqueio, podem-se gerar pressões internas muito altas devido à dilatação do líquido pelo simples efeito do calor solar, caso a tubulação esteja completamente cheia de líquido e com ambas as válvulas de bloqueio fechadas.

Para evitar essas pressões, devem ser instaladas derivações com válvulas de alívio nos trechos de tubulações para líquidos, que sejam compreendidos entre duas válvulas de bloqueio, e que possam ficar expostos ao sol. As válvulas de alívio devem ser calibradas para abrirem com uma pressão superior à máxima pressão de operação que possa ocorrer na linha.

14. *Bloqueio duplo com dreno* — Em locais onde seja necessário o bloqueio absoluto de uma tubulação, isto é, uma garantia de não haver qualquer passagem de fluido de um lado para outro, mesmo no caso de defeito na válvula de bloqueio, usa-se um dispositivo conhecido como "duplo bloqueio com dreno". Consiste na colocação de duas válvulas de bloqueio, separadas por um pequeno trecho de tubo, onde se instala um dreno com válvula. A válvula do dreno deve permanecer aberta quando as válvulas de bloqueio estiverem fechadas. Qualquer vazamento — mesmo pequeno — que haja através de uma das válvulas de bloqueio será imediatamente acusado pela saída de fluido pelo dreno, o que ao mesmo tempo evita a passagem do fluido pela outra válvula de bloqueio. Tratando-se de fluidos perigosos deve haver uma tubulação saindo do dreno, até local seguro.

Esse dispositivo é muito usado quando a contaminação recíproca de dois fluidos não pode ser tolerada.

15. *Instalação de instrumentos de medição de vazão* — Antes e depois das placas de orifício de medição (orifice plates), venturis e outros dispositivos que medem a vazão por diferença de pressões, deve sempre ser deixado um comprimento de tubo reto, sem derivações, ou qualquer outro acidente que possa causar perturbações no fluxo. Esses comprimentos mínimos necessários são dados na publicação "Orifice Metering of Natural Gas", da "American Gas Association" (*); como primeira aproximação, pode-se dizer que a montante das placas de orifício, o comprimento mínimo de tubo reto deve ser 30 diâmetros nominais do tubo, e a jusante 6 diâmetros nominais. Não devem ser colocadas placas de orifício em tubos verticais com fluxo descendente.

As placas de orifício são instaladas entre flanges especiais, denominados "flanges para placa de orifício", que contêm, no corpo do flange, uma pequena tomada rosqueada para a tubulação de medição de pressão. Esses flanges só são fabricados da classe 300# em diante.

Para os medidores volumétricos de vazão não se aplica essa exigência de trechos retos de tubo antes e depois.

16. *Instalação de manômetros e termômetros* — Os manômetros (e também os vacuômetros) são instalados em uma pequena derivação saindo de um "Tê" ou de uma luva soldada na tubulação principal. A derivação deve ter uma válvula de bloqueio e uma válvula de dreno e purga de ar; algumas vezes coloca-se uma válvula macho de 3 vias fazendo simultaneamente ambos os serviços. A Fig. 10.29 mostra duas instalações típicas de manômetros.

Os termômetros são também instalados em luvas soldadas na tubulação. Na luva é rosqueada uma peça denominada "poço", para proteção do bulbo do termômetro que fica no interior do tubo, como se vê na Fig. 10.29.

17. *Tomadas de amostragem* — As tomadas de coleta de amostras ou outros pontos onde possa haver escapamento do fluido conduzido, devem ficar no máximo a 1 m acima do piso, e nunca acima do nível da vista do operador, principalmente tratando-se de fluidos perigosos.

18. *Travessias de paredes e de pisos* — Quando um tubo tem de atravessar uma parede ou um piso, de concreto ou de alvenaria, a travessia deve ser feita por um orifício circular deixando uma boa folga em toda a volta do tubo. Para tubos quentes, sujeitos a movimentos de dilatação, essa folga deve ser aumentada de acordo; se o tubo tiver isolamento térmico a folga deve ser deixada por fora do revestimento isolante.

Em princípio não deve haver tubos embutidos nas travessias de paredes ou de pisos. Algumas vezes, entretanto, é necessário que a parede ou o piso atravessado seja

(*) Para os comprimentos mínimos de tubo reto em placas de orifício, veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já citado.

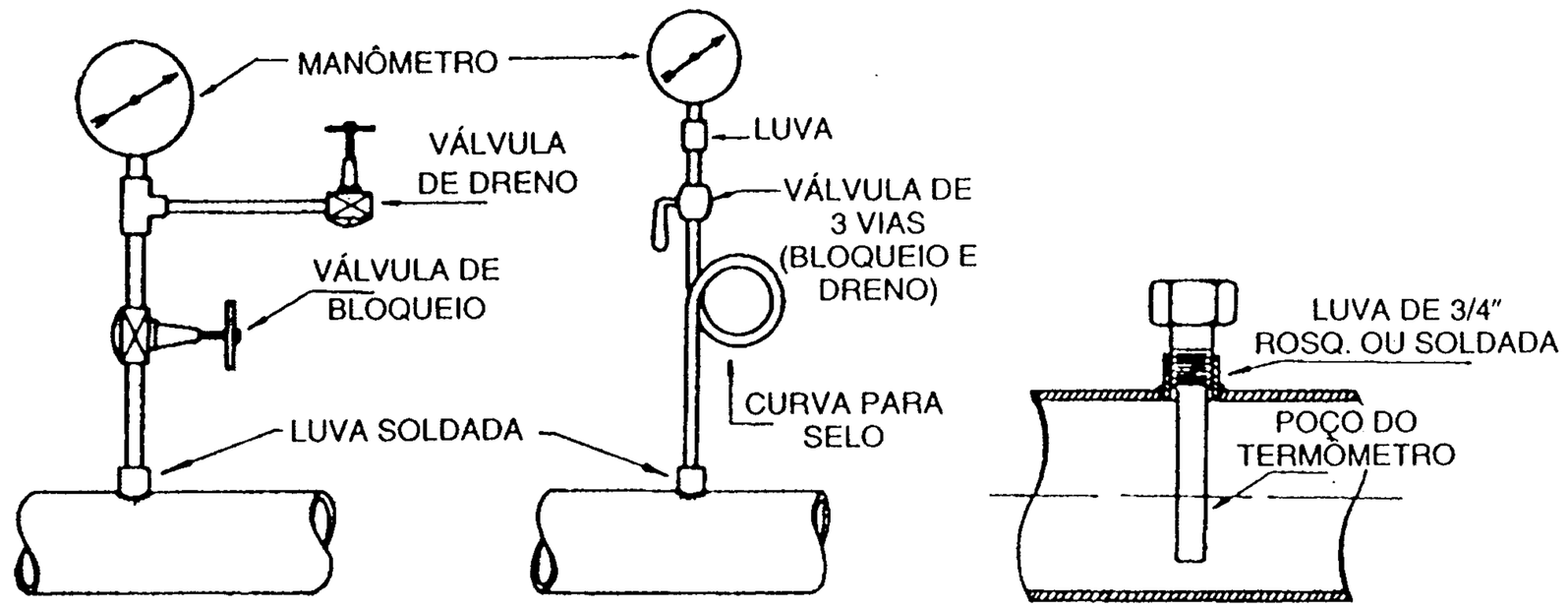


Fig. 10.29 Instalação de manômetros e termômetros.

estanque, e nesse caso a tubulação deve ficar rigidamente ancorada, como mostra a Fig. 10.30. É o que ocorre, por exemplo, nas tubulações que atravessam diques de concreto armado de bacias de contenção de tanques de armazenagem (veja Item 12.5). Nesses casos, a parede — ou o piso — deve ser calculada e construída para resistir a todos os esforços exercidos pela tubulação, isto é, a travessia será um ponto de ancoragem da tubulação (veja Item 11.10). Por esse motivo, a parede ou piso deverá ser de construção resistente (concreto armado ou estrutura metálica), não se admitindo, por exemplo, construção em alvenaria ou concreto simples. Como geralmente a construção da parede, ou do piso, é feita antes da montagem da tubulação, deve-se deixar um pedaço de tubo embutido, com as extremidades para solda, que serão soldadas na tubulação quando esta for montada.

19. *Extremidades de tubulações* — Quando se prevê no futuro o prolongamento de uma tubulação, é usual a colocação de um tampão na sua extremidade, para facilitar esse prolongamento.

20. *Estações de serviço* — Em todas as áreas de processamento e também em outros locais onde haja grupos de bombas, compressores, ou outras máquinas ligadas às tubulações, ou ainda um conjunto numeroso de válvulas, devem ser colocadas tomadas com engate de mangueira para vapor, água e ar comprimido.

As três tomadas são grupadas juntas, em locais convenientes, a 1 m acima do piso, constituindo o que se chama uma "estação de serviço". As estações de serviços têm por finalidade auxiliar a manutenção, a limpeza e a extinção de princípios de incêndio. A localização das estações de serviço deve ser estudada de forma que qualquer equipamento possa ser atingido com uma mangueira de 15 m no máximo. Em cada tomada costuma haver uma válvula de bloqueio e uma peça para engate rápido de mangueira, todas sempre do mesmo diâmetro e geralmente de $\frac{3}{4}''$.

10.10 Tubulações Subterrâneas

Dentro de uma instalação industrial são raras as tubulações subterrâneas. Costumam ser subterrâneas apenas as linhas de esgotos (pluvial, sanitário, industrial etc.), que quase sempre funcionam por gravidade, e, às vezes, algumas linhas de distribuição de água potável e de ar comprimido; é usual também colocar enterradas as tubulações de incêndio, para evitar a possibilidade de colisões e outros acidentes.

Fora dos limites de uma instalação industrial, em cidades, estradas, ruas e campos, todas as tubulações são subterrâneas, tanto por questões de segurança, aparência e economia, como para não interferirem com o movimento de pessoas e veículos. Não trataremos aqui desses casos por fugirem ao âmbito desse livro.

Como a maior parte das tubulações subterrâneas é lançada diretamente no solo, sem suportes nem fundações, não há motivo para a arrumação dos tubos em feixes paralelos de mesma elevação, nem para a obediência ao paralelismo a duas direções. As tubulações em ruas e estradas, dentro ou fora dos limites de uma instalação industrial, devem ser paralelas à linha de centro da rua, os ramais podendo ter um percurso qualquer, de preferência o caminho mais curto entre os pontos extremos. As tubulações em terreno aberto seguem, em geral, o caminho mais curto entre os pontos extremos, compatível com as condições locais.

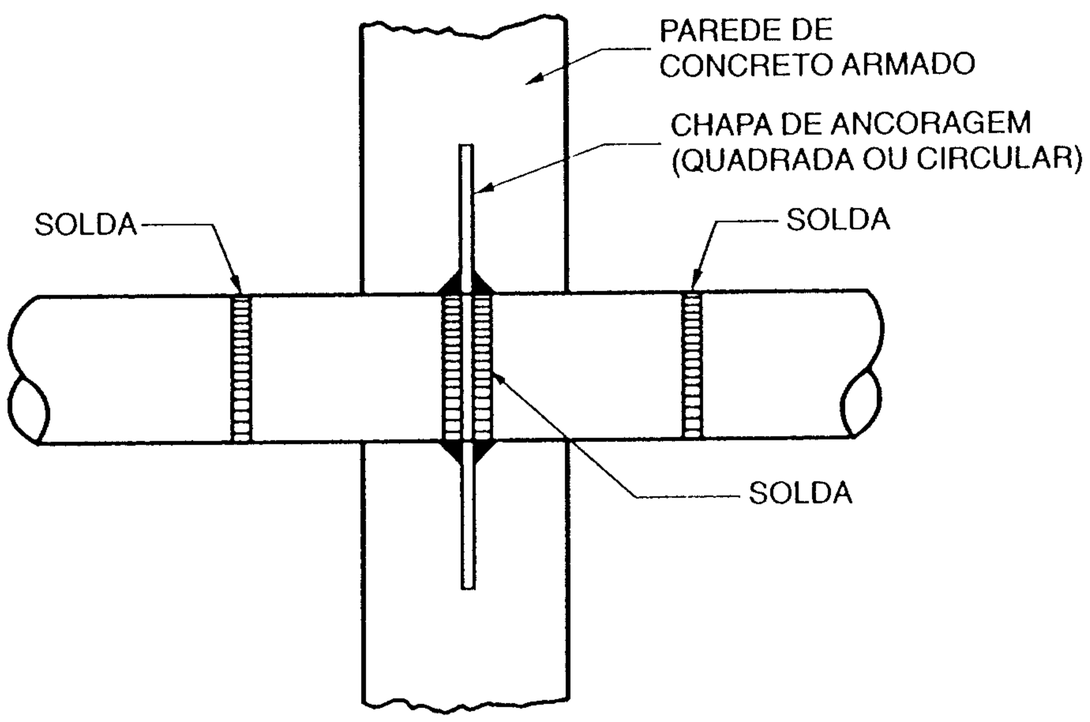


Fig. 10.30

Em tubulações subterrâneas não se fazem mudanças de direção para dar flexibilidade pelas seguintes razões:

1. A maioria das tubulações é de temperatura ambiente, e como a temperatura do solo é constante, as dilatações são desprezíveis, sendo facilmente absorvidas pela movimentação natural dos tubos no solo.

2. Mesmo quando a tubulação trabalha um pouco quente, a livre movimentação dos tubos no solo é, em geral, capaz de absorver as dilatações.

3. Em caso de dilatações maiores, que não possam ser absorvidas desta forma, usam-se juntas de expansão ou ligações que permitam pequenos movimentos axiais, tais como as juntas "Dresser", "Victaulic" etc., ou certos tipos de ligações de ponta e bolsa.

Nos pontos de ligação de uma tubulação subterrânea lançada diretamente ao solo, com qualquer equipamento ou construção sobre fundações, deve-se tomar especial cuidado com os recalques de terreno que podem causar desnivelamento ou mesmo a ruptura da tubulação. Tais são, por exemplo, os pontos de entrada de tubulações em prédios, tanques, bombas, caixas subterrâneas e outras construções sobre fundações. O mesmo acontece em tubulações subterrâneas que tenham trechos sucessivos sobre fundações e sobre o solo, em terrenos de recalque apreciável. Uma das soluções possíveis para esse problema consiste em adotar-se um traçado sinuoso (como se fosse uma curva de expansão), para que a flexibilidade das curvas possa absorver o desnivelamento causado pelos recalques diferenciais.

Todas as tubulações subterrâneas que sejam de materiais sujeitos à corrosão pelo solo devem receber um revestimento ou um tratamento externo protetor, como veremos no Cap. 16.

Nas tubulações subterrâneas de pressão, em que se empreguem ligações de ponta e bolsa, deve haver blocos de concreto de ancoragem em todos os pontos de mudança de direção, defronte das derivações importantes, e de espaço em espaço nos trechos retos, para impedir um possível desengate dos tubos por efeito da pressão interna. A Fig. 10.34 mostra esses blocos de ancoragem.

Tanto em áreas de processo, com em outras áreas dentro de uma instalação industrial é, às vezes, necessário colocar tubulações de aço abaixo do nível do solo. Para que seja possível a pintura, inspeção e manutenção, essas tubulações são usualmente instaladas dentro de canaletas de concreto com tampas removíveis, como mostra a Fig. 10.31. Essas canaletas, além do custo elevado, têm o grave defeito de serem focos de corrosão e de possível acumulação de líquidos e gases perigosos. Por todas essas razões, o emprego de canaletas deve, em princípio, ser evitado, tolerando-se somente nos casos em que não houver outra solução. As canaletas devem ser proibidas em locais onde houver possibilidade de derramamento de fluidos sobre o piso — como é o caso em áreas próximas a caldeiras ou fornos —, principalmente tratando-se de fluidos

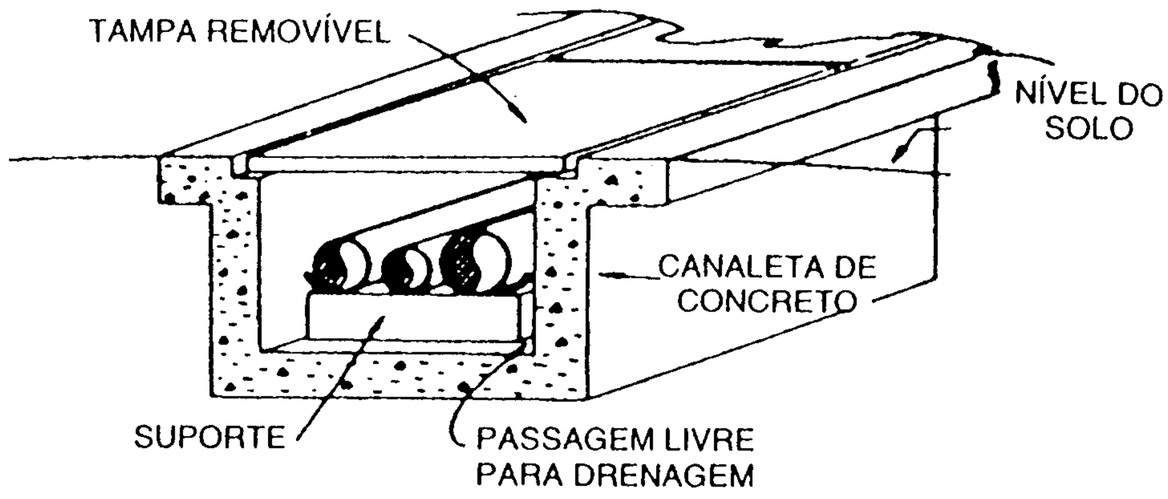


Fig. 10.31 Canaletas para tubulações subterrâneas.

combustíveis, inflamáveis, tóxicos, ou perigosos de um modo geral. Na maioria das instalações industriais, tubulações em canaletas, quando existentes, resumem-se a algumas linhas de sucção de bombas, recolhimento de condensado, e algumas com fluxo por gravidade. Todas as tubulações com isolamento térmico que tenham de correr abaixo do nível do solo devem obrigatoriamente ser instaladas dentro de canaletas. Não há necessidade de serem colocadas em canaletas quaisquer tubulações de ferro fundido, barro vidrado, concreto, plásticos e outros materiais não-metálicos, que podem ser diretamente enterradas no solo.

As canaletas devem ser construídas de maneira que seja possível e fácil a sua drenagem; por essa razão, os suportes dentro da canaleta nunca devem se estender em toda a largura da mesma. O fundo da canaleta deve ter um caimento para facilitar a drenagem.

10.11 TUBULAÇÕES DE ESGOTOS

As tubulações de esgotos são sempre subterrâneas e funcionam quase todas como canais, isto é, por gravidade, com superfície livre. Por essa razão devem ter um caimento contínuo, que quanto maior for, maiores serão a velocidade e a vazão. Na prática em geral não se pode dar um caimento muito grande devido a limitações das diferenças de nível disponíveis. Este assunto está no Cap. 2 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo".

Como as tubulações de esgotos sempre carregam uma certa quantidade de sólidos, devem ter, em determinados pontos, caixas de decantação denominadas de "caixas-de-visita", onde o material sólido fica depositado. As caixas-de-visita devem ter uma tampa removível para a limpeza (Fig. 10.32) e uma certa profundidade abaixo da entrada dos tubos, para a acumulação dos sólidos. As dimesões das caixas serão tanto maiores quanto maiores forem o diâmetro dos tubos, a quantidade de sólidos carregados e o intervalo previsto entre limpezas sucessivas.

As caixas-de-visita pequenas, para tubos de até 4″ a 6″ são, às vezes, de ferro fundido. As caixas maiores, e também freqüentemente as pequenas, são de concreto prémoldado ou de alvenaria de tijolos, feitas no local. As tampas removíveis são quase sempre de ferro fundido, mesmo para as caixas grandes.

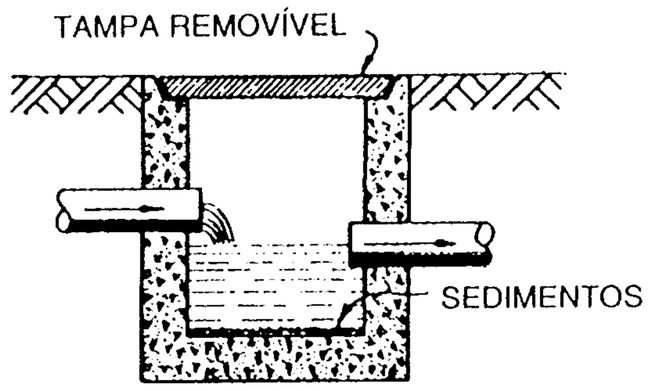


Fig. 10.32 Caixa-de-visita de esgotos.

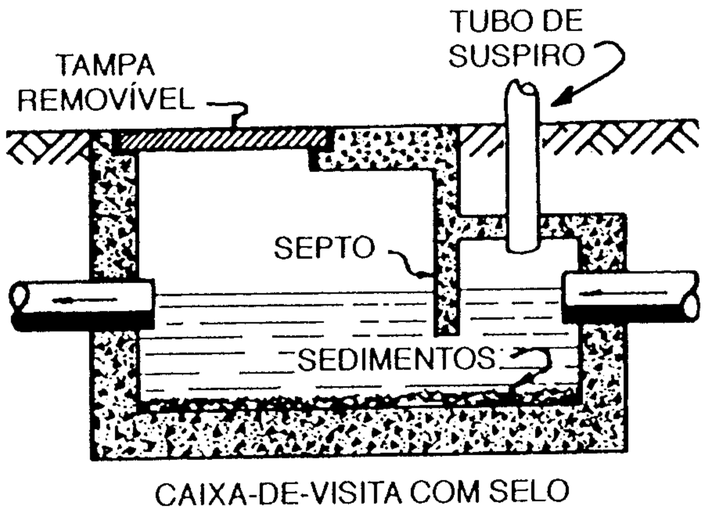


Fig. 10.33 Caixa-de-visita com selo de água.

Quando houver presença de gases inflamáveis, explosivos ou tóxicos na tubulação, as caixas-de-visita devem ter, como mostra a Fig. 10.33:

— Tampa fechando hermeticamente.
— Tubo de respiro levando os gases até local seguro.
— Septo dentro da caixa, formando um selo de água, para evitar a passagem dos gases perigosos através da caixa.

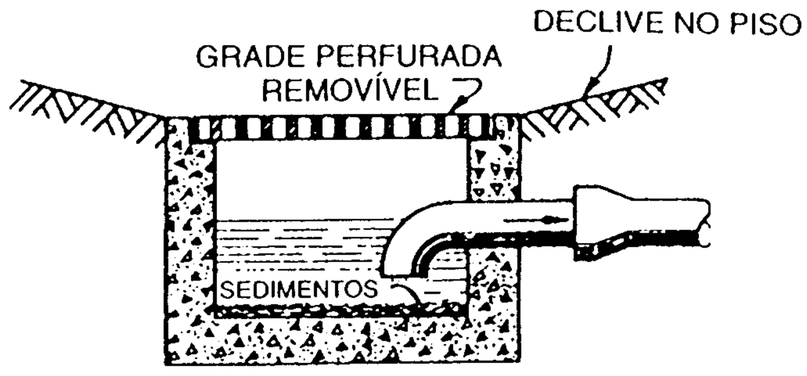


Fig. 10.35 Caixa de coleta no piso.

Em tubulações de esgoto sanitário esse mesmo sistema de caixas é também usado.

Em quaisquer tubulações de esgotos, devem ser colocadas caixas-de-visita nos seguintes pontos:

— Pontos de derivações importantes.
— Pontos de mudança de direção.
— Todos os pontos de mudança de elevação.
— Todos os pontos extremos.
— Em determinados pontos ao longo de trechos retos e compridos.

Todas as derivações em tubulações de esgotos devem ser feitas a 45°, no sentido do fluxo (Fig. 10.34). Para ramais pequenos usam-se "Tês" ou cruzetas de 45°; para ramais grandes usam-se caixas-de-visita. Só se empregam curvas ou joelhos, em linhas de esgotos, para diâmetros pequenos (geralmente até 4″); para os diâmetros maiores, e também muitas vezes para os diâmetros pequenos, as mudanças de direção são feitas com caixas-de-visita.

Nos sistemas de esgotos pluviais e em alguns esgotos industriais em que os líquidos são coletados no piso, usam-se caixas de coleta com tampa gradeada (Fig. 10.35), que servem também como caixas de decantação. Quando

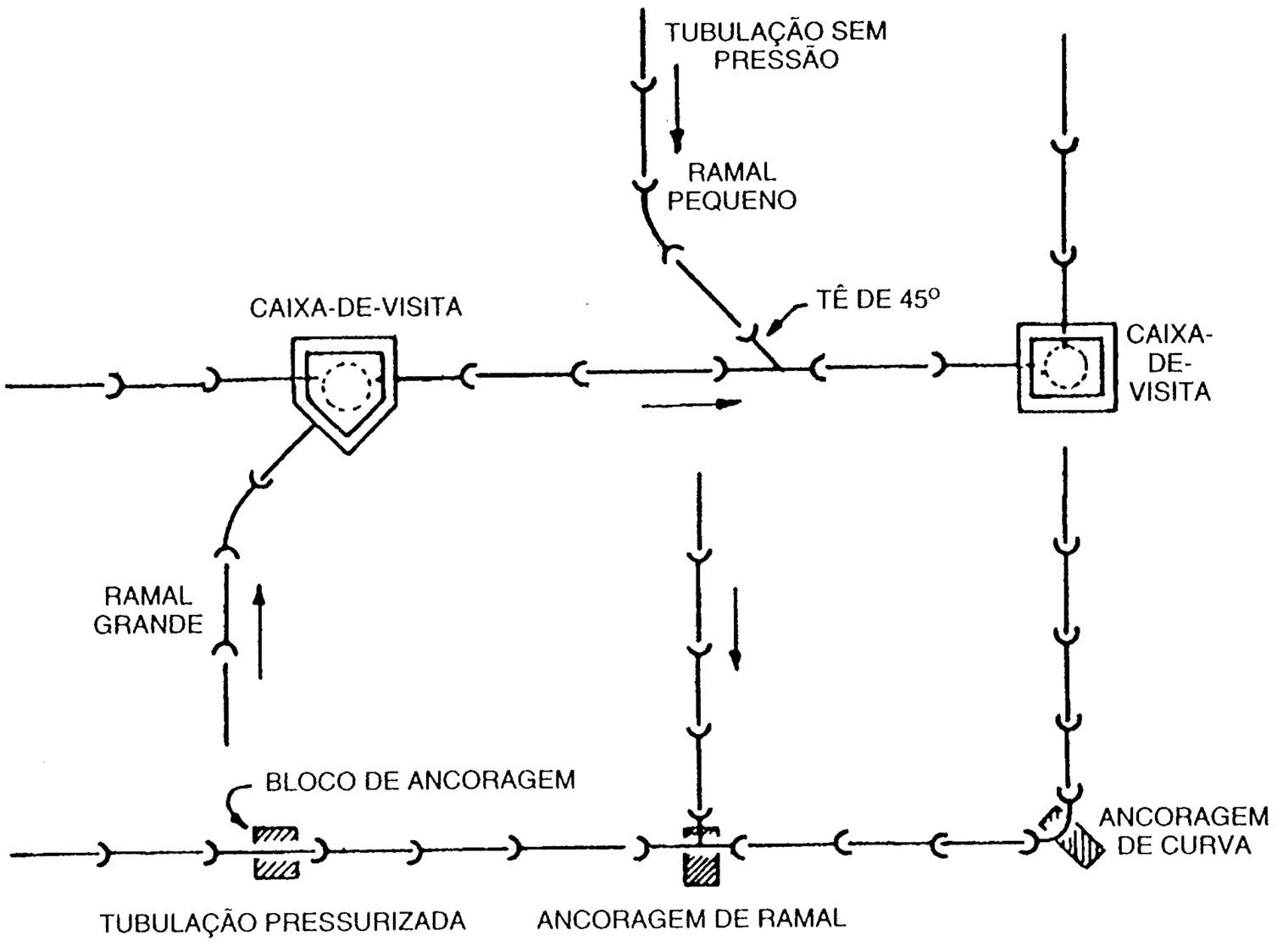


Fig. 10.34 Tubulações subterrâneas.

houver presença de gases inflamáveis, explosivos ou tóxicos, as caixas de coleta no piso devem ter selo de água.

Em instalações industriais os sistemas de esgotos pluvial, industrial e sanitário são sempre independentes e projetados de forma a não permitirem a contaminação recíproca. Os efluentes de esgotos industrial e sanitário devem, em geral, receber algum tratamento antes de serem lançados fora.

11

SUPORTES DE TUBULAÇÃO

11.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SUPORTES DE TUBULAÇÃO

Os suportes de tubulação (pipe-supports) são os dispositivos destinados a suportar os pesos e os demais esforços exercidos pelos tubos ou sobre os tubos, transmitindo esses esforços diretamente ao solo, às estruturas vizinhas, a equipamentos ou, ainda, a outros tubos próximos.

O estudo, projeto e construção do conjunto dos suportes são etapas das mais importantes do projeto global e da construção de um sistema de tubulações, porque, além de os suportes — incluindo suas estruturas e fundações — representarem muitas vezes um custo elevado, os suportes quando mal estudados, mal projetados ou mal construídos, podem comprometer seriamente o funcionamento e a segurança da instalação, e mesmo causar acidentes e desastres.

Não são raros os casos em que o projeto dos suportes é malfeito, ou de todo negligenciado, e até às vezes deixado inteiramente à improvisação do montador, mesmo em instalações importantes e com tubulações de materiais caros, tendo como conseqüência flechas excessivas e distorções nas tubulações, flexão excessiva e vazamentos em válvulas, flanges e outros acessórios, cargas exageradas sobre equipamentos etc.

Existe uma grande variedade de tipos e de modelos diferentes de suportes de tubulação. De acordo com a função principal que exercem, os suportes podem ser classificados em:

1. Suportes destinados a sustentar os pesos

- Fixos
- Semimóveis (pipe-hangers).
- Móveis
  - Suportes de mola (spring-hangers).
  - Suportes de contrapeso.

Todos esses suportes podem ser apoiados, isto é, transmitindo os pesos para baixo (diretamente ao solo ou a alguma estrutura, base de equipamento, vaso etc.), ou pendurados, isto é, transmitindo os pesos para cima. Na prática usual quase todos os suportes são apoiados, pelo fato de serem mais simples e mais econômicos. Suportes pendurados, de qualquer tipo, só são usualmente empregados quando existe uma estrutura superior que é aproveitada para suportar os tubos: é o caso, por exemplo, de tubulações dentro de prédios ou galpões, por baixo de lajes ou de outras estruturas etc. Os suportes pendurados, além de serem bem mais caros (exceto quando é aproveitada uma estrutura já existente), são também uma fonte de vibrações.

2. Suportes destinados a limitar os movimentos dos tubos (restraints):

— Dispositivos de fixação total — Ancoragens (anchors).
— Dispositivos que permitem apenas movimentos em uma direção. — Guias (guides).
— Dispositivos que impedem o movimento em um sentido — Batentes (stops).
— Dispositivos que impedem os movimentos laterais — Contraventos (bracing).

3. Dispositivos que absorvem as vibrações — Amortecedores (dampers).

Essa classificação é apenas didática, não podendo ser aplicada rigorosamente, porque a maioria dos dispositivos de suporte preenche mais de uma das funções acima; por exemplo, quase todos os suportes que limitam os movimentos também sustentam os pesos e, reciprocamente, todos os suportes que se destinam a sustentar os pesos causam alguma limitação aos movimentos dos tubos.

11.2 CARGAS QUE ATUAM SOBRE OS SUPORTES

As cargas que atuam sobre os suportes são as seguintes:

1. Pesos:

— Peso próprio dos tubos, válvulas, e outros acessórios e conexões da rede de tubulações.
— Peso do fluido contido.

— Peso do isolamento térmico, se houver.
— Sobrecargas diversas exercidas sobre a tubulação, tais como peso de outros tubos, pessoas, plataformas, estruturas etc., apoiadas na tubulação.

2. Forças de atrito provenientes dos movimentos relativos entre os tubos e os suportes.

3. Cargas conseqüentes das dilatações térmicas dos tubos.

4. Cargas devidas a ações dinâmicas diversas, tais como golpes de aríete, acelerações do fluido circulante, vibrações, ação do vento etc.

Todas essas cargas devem ser avaliadas para se poder calcular as cargas exercidas sobre os suportes e transmitidas ao solo ou às estruturas e fundações.

Para o peso do fluido contido, considera-se, na maioria dos casos, o peso da água (para o tèste hidrostático), quando for superior ao do próprio fluido, ou o peso do fluido, quando superior ao da água. Tratando-se de tubulações de grande diâmetro para gases, essa consideração pode levar a um excessivo superdimensionamento dos suportes; permite-se então, nesses casos, não levar em conta o peso da água, desde que seja possível a construção de suportes ou escoramentos provisórios para o teste hidrostático. Em um grupo de tubos paralelos no mesmo suporte, não há evidentemente necessidade de considerar todos os tubos cheios de água, porque os testes não precisam ser simultâneos.

É importante salientar que todos os equipamentos ligados à rede de tubulações (vasos, tanques, bombas etc.), devem obrigatoriamente ter suportes ou bases próprias, não se admitindo que sejam simplesmente suportados pela tubulação, mesmo quando se tratar de equipamentos pequenos, simples, ou secundários.

O cálculo dos pesos e forças de atrito que agem sobre os suportes está no Cap. 8 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo". O cálculo dos esforços provenientes das dilatações térmicas está nos Caps. de 5 a 7 desse mesmo livro.

11.3 Suportes Fixos

Chamam-se suportes fixos os que não se deslocam verticalmente, não possibilitando assim que a tubulação tenha movimentos verticais. São os mais comuns de todos os tipos de suportes.

Esses suportes podem ser apoiados ou pendurados, conforme transmitam os pesos para baixo ou para cima.

Existe uma variedade muito grande de tipos e modelos de suportes fixos, de concreto, metálicos ou de estrutura mista. Na Fig. 11.1 estão mostrados alguns mais comumente usados.

Os tipos "*a*" e "*b*", são os suportes simples ou diretos, denominados dormentes (sleepers), destinados a tubulações situadas a pequena altura e que transmitem os pesos diretamente ao solo ou a algum piso. O suporte "*a*" resume-se em uma mureta de concreto, na qual está embutido um perfil metálico, que constitui a superfície de apoio dos tubos. O suporte "*b*" é uma viga metálica apoiada em blocos de concreto ou em colunas metálicas.

Dependendo do tipo de construção e das condições do solo, pode-se ter a fundação em sapata (fundação direta) ou fundação em estacas (Fig. 11.2).

A Fig. 11.1(*c*) é um suporte do tipo coluna e as Figs. 11.1(*d*) e 11.3 são suportes do tipo pórtico (pipe-yards), todos esses modelos empregados para tubulações elevadas. As estruturas serão tanto mais complexas e reforçadas (com reforços, peças em diagonal etc.), quanto mais pesadas ou mais elevadas forem as tubulações.

As estruturas de pórtico, formando as pontes de tubulação, costumam ser ligadas umas às outras por vigas longitudinais, paralelas aos tubos, tendo as seguintes finalidades:

— Absorver os esforços horizontais longitudinais das tubulações (reações de atrito e de dilatações etc.).
— Suportar tubulações na direção perpendicular às tubulações principais.
— Suportar os suportes transversais intermediários para os tubos de pequeno diâmetro que não podem vencer o vão entre os pórticos.

Além das vigas transversais e longitudinais, as pontes de tubulação têm também, em geral, vigas diagonais de contraventamento, para reforço da estrutura. Quando o comprimento das vigas transversais dos pórticos exceder a 7 m, sugere-se colocar os extremos das vigas em balanço — às vezes com vigas diagonais "mãos francesas" —, ou estudar a conveniência de adotar dois níveis diferentes para as tubulações, com a finalidade de diminuir o vão livre e, em conseqüência, a altura e o peso das vigas. A Fig. 11.3 mostra uma estrutura de pórtico com dois níveis de tubulações, e extremidade da viga com mão francesa. Para reduzir ao mínimo a altura da estrutura, a diferença de elevações entre as tubulações paralelas à ponte e as tubulações em direção ortogonal deve ser a menor possível, observando-se o que está recomendado na Fig. 10.22, do Cap. 10.

O suporte da Fig. 11.1(*e*) é uma viga em balanço, com ou sem o reforço em diagonal (mão francesa), chumbada ou soldada a alguma estrutura existente (parede, base de concreto de equipamento, coluna metálica ou de concreto, parede de equipamento etc.), que é aproveitada para suportar as tubulações. O aproveitamento de estruturas existentes é uma solução muito empregada principalmente para uma ou mais tubulações leves, ainda que resulte em aumentar o comprimento das tubulações.

A Fig. 11.1(*f*) é um suporte tipo pedestal, para a sustentação de curvas situadas no plano vertical, e descarregando o peso diretamente ao solo ou a algum piso. O perfil metálico soldado à curva deve estar, de preferência, no alinhamento do trecho vertical da tubulação. Empregam-se esses suportes, por exemplo, em ambos os lados das "estações de válvulas de controle" (veja Fig. 10.27), e também nos tubos verticais de entrada e saída de bombas em áreas

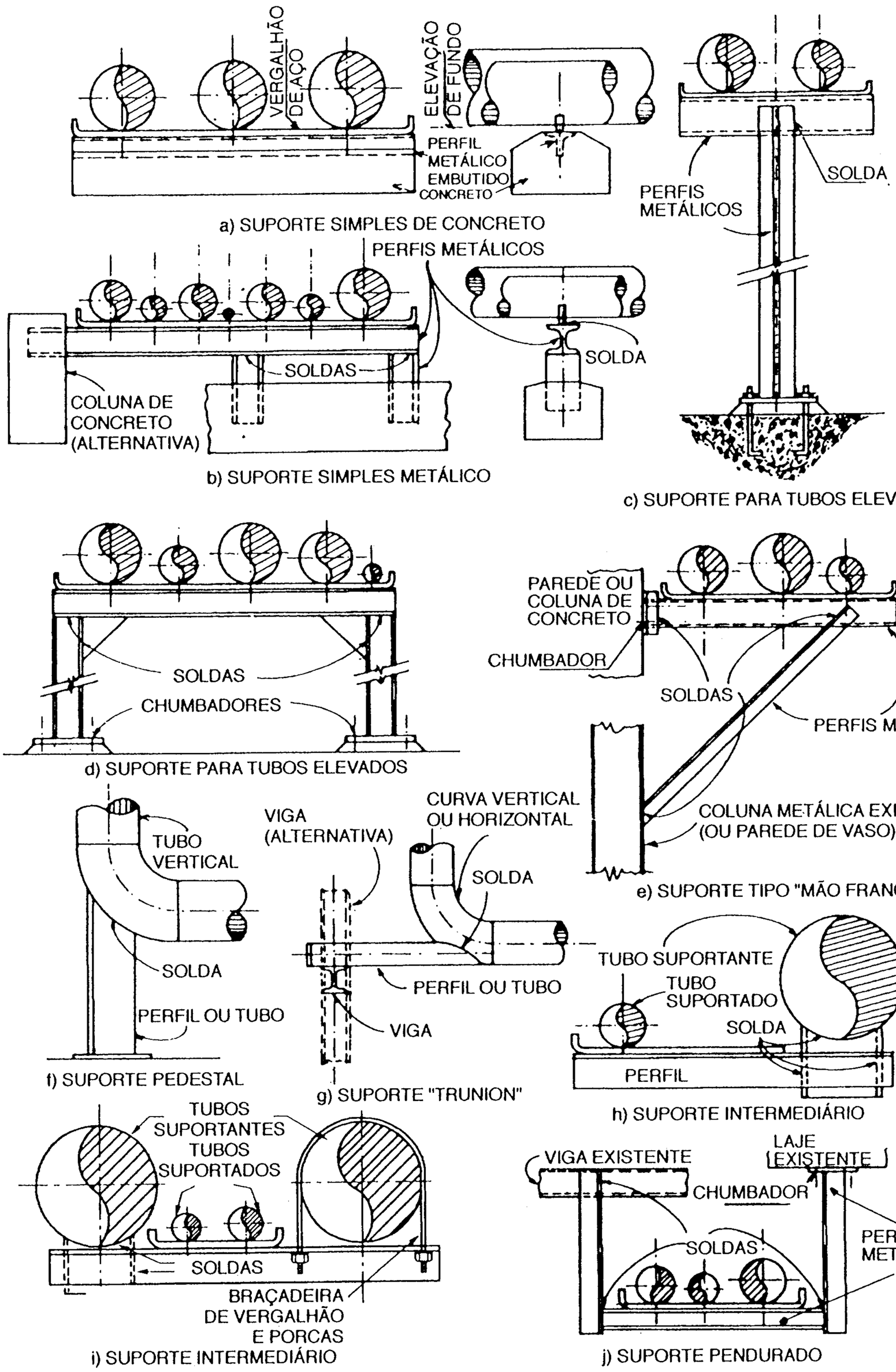


Fig. 11.1 Exemplos de suportes fixos.

de processo, quando os bocais da bomba tiverem eixo horizontal: o suporte pedestal ficará soldado à curva junto ao bocal da bomba, para evitar que o peso da tubulação fique sobre a bomba.

A Fig. 11.1(*g*) mostra um modelo dos suportes denominados "trunion", muito empregados para a sustentação de curvas. Consistem em pedaços de perfis metálicos ou de tubos soldados à curva da tubulação e apoiados diretamente sobre uma viga.

Quando se tem tubos paralelos de diâmetros muitos diferentes, procura-se fazer com que os tubos finos e leves sejam sustentados por suportes intermediários soldados aos tubos de grande diâmetro. Esse sistema permite aumentar o espaçamento dos suportes principais até o vão admissí-

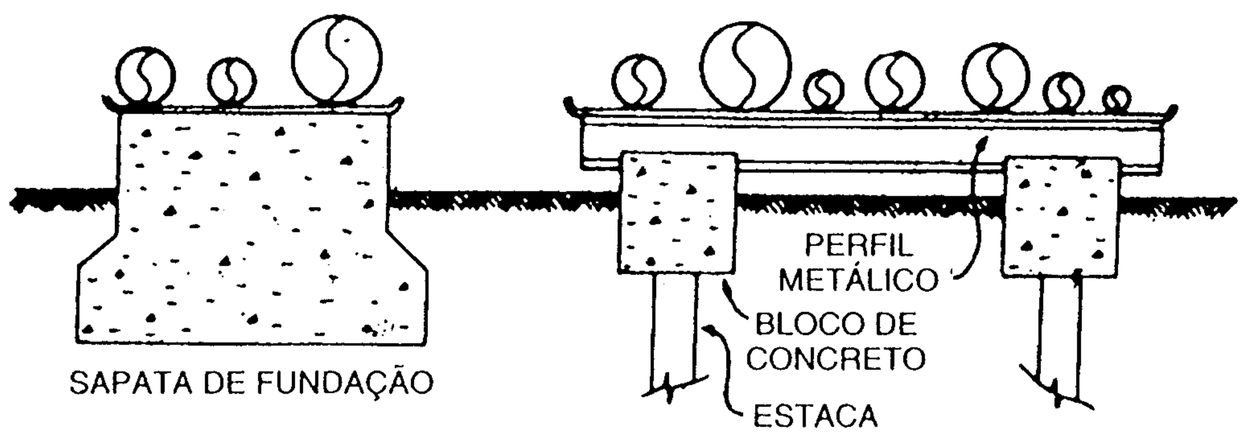


Fig. 11.2 Fundações para suportes sobre o solo.

vel para os tubos de maior diâmetro, como já vimos no Item 10.3. Os tubos suportantes devem ter no mínimo 4 vezes o diâmetro do maior tubo suportado. Quando se empregam esses suportes intermediários, deve-se fazer uma verificação das tensões nos tubos suportantes (como detalhado no Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo"), sempre que houver solicitações grandes nesses tubos ou quando se tiver dúvidas sobre a capacidade de suporte dos mesmos. As Figs. 11.1(*h*), (*i*) mostram exemplos de suportes intermediários, sustentados por um ou dois tubos de grande diâmetro. É importante que os suportes intermediários, quando pendurados em dois tubos, não sejam nunca rigidamente presos a ambos, para que seja possível o movimento relativo de um dos tubos suportantes em relação ao outro.

A Fig. 11.1(*j*) mostra, finalmente, um modelo de suporte fixo pendurado, transmitindo os pesos para uma estrutura situada acima dos tubos.

É importante observar que, qualquer que seja o tipo de suporte, os tubos devem sempre ficar completamente livres de se movimentar sobre ele, porque, quanto maior for a liberadade de movimentos, menores serão os esforços sobre os suportes e sobre os próprios tubos. É por isso inteiramente errado o uso de grampos, braçadeiras, ou outros recursos semelhantes de fixação dos tubos nos suportes. Voltaremos a esse assunto no Item 11.11, a seguir.

A Fig. 11.4 mostra exemplos de emprego de vários tipos de suportes, inclusive alguns suportes móveis, que serão referidos no Item 11.7, a seguir; vejam-se também as Figs. 10.1, 10.9, 10.11, 10.15, e 10.18, do Cap. 10, para exemplos de empregos de suportes de tubulação.

11.4 Contato Entre os Tubos e os Suportes

Nos suportes de tubulação procura-se geralmente evitar o contato direto entre os tubos e a superfície de apoio, com a finalidade de permitir a inspeção e a pintura da face

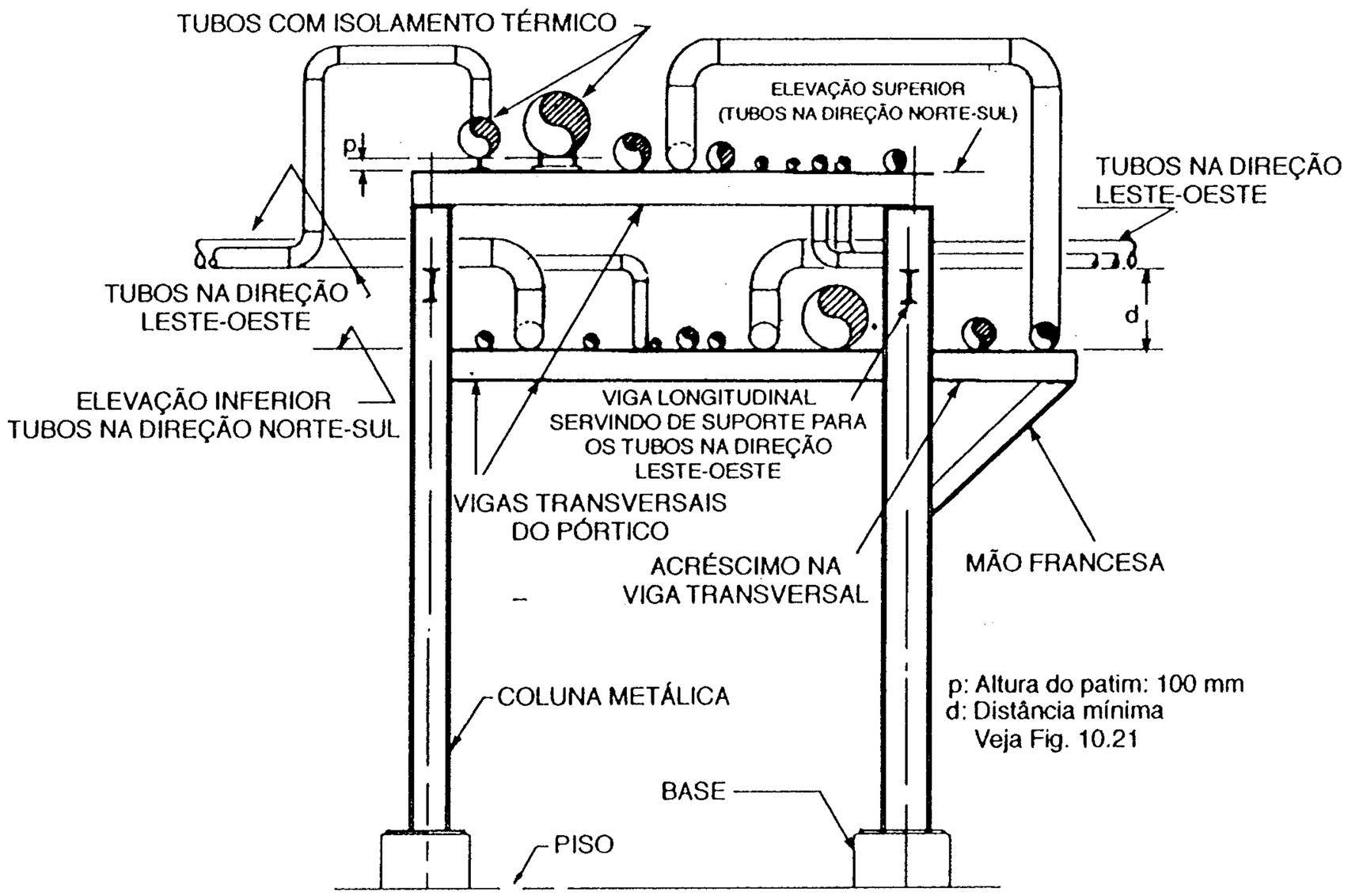


Fig. 11.3 Estruturas de pórtico para tubos elevados.

1. Pórtico para grupos de tubos elevados
2. Suporte para tubos elevados
3. Suporte pedestal
4. Suporte mão-francesa
5. Suporte "trunion" (para curva horizontal)
6. Suporte para tubo vertical (veja Item 11.5)
7. Guia para tubo vertical (veja Item 11.10)
8 Suporte de mola apoiado } Para a dilatação diferencial
9. Suporte de mola pendurado } entre a torre e as tubulações
A Vaso vertical (torre) } (veja Item 11.7)
B Vaso horizontal
C Trocador de calor
D Bomba
E Válvula de controle

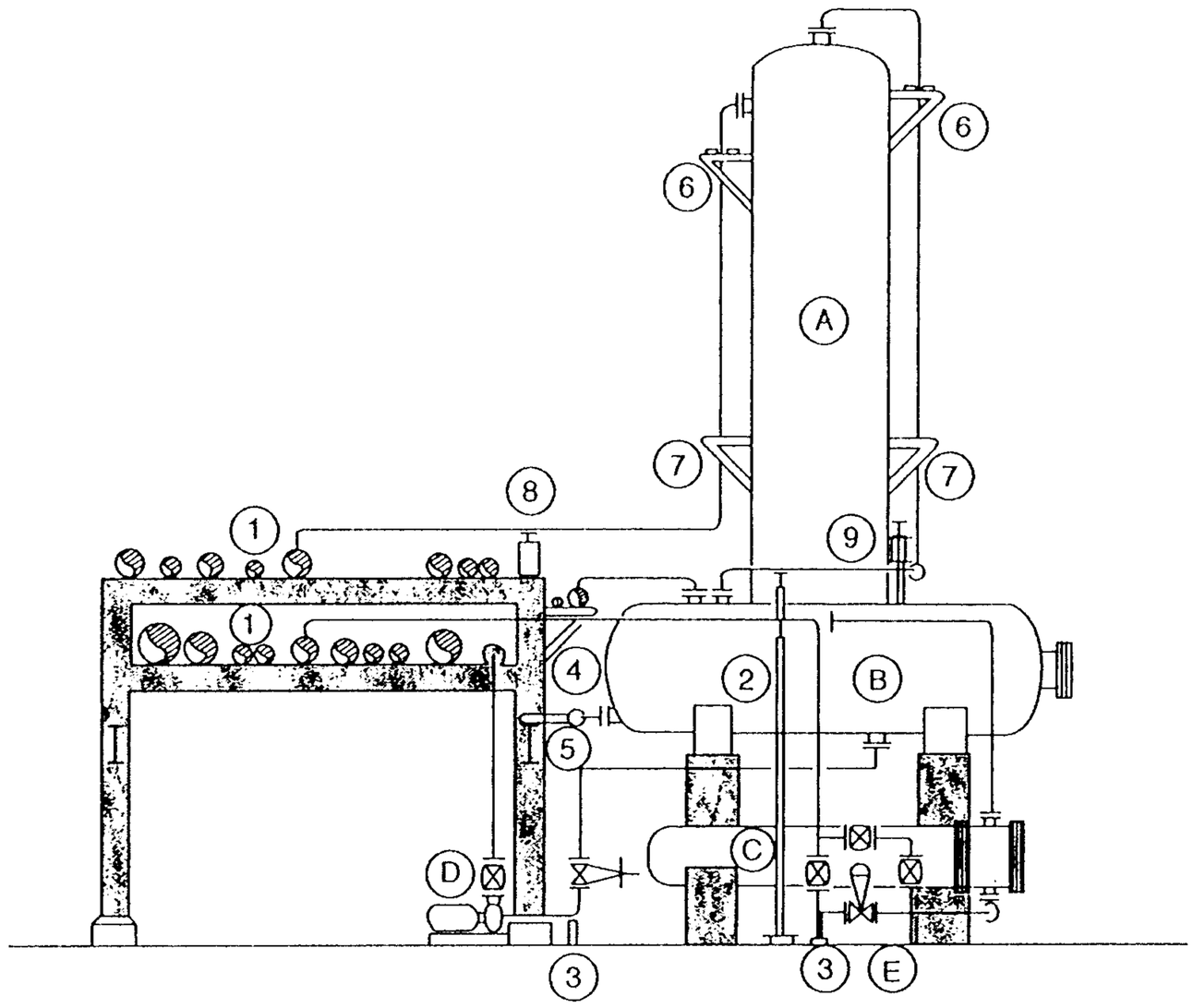


Fig. 11.4 Exemplos de emprego de vários tipos de suportes.

inferior dos tubos e da própria superfície de apoio. Um dos recursos usados em tubos de aço com diâmetro até 12″, para evitar esse contato direto, é a colocação de um vergalhão de aço (geralmente de 3/4″ ø), transversalmente aos tubos, soldado na superfície metálica do suporte, como mostram vários exemplos da Fig. 11.1. O vergalhão costuma ter as extremidades com as pontas viradas para cima, de modo a impedir que os tubos possam cair fora do suporte.

Tratando-se de tubos pesados (diâmetro de 12″, ou maior), ou de tubos com parede muito fina, a carga concentrada resultante do contato com o vergalhão poderia danificar ou mesmo causar o colapso do tubo, havendo por isso necessidade de melhorar a distribuição de cargas. Para tubulações de 14″ a 22″ de diâmetro basta a colocação de uma chapa de reforço tipo calha, soldada ao tubo em toda a volta (Fig. 11.5(*a*)); para diâmetros de 24″, ou maiores, recomenda-se que em cada ponto de suporte haja um berço. Os berços (Fig. 11.5(*b*)), compõem-se de uma chapa-calha, abrangendo 120° da circunferência do tubo, uma chapa de base, uma chapa vertical transversal e algumas nervuras verticais. A chapa-calha deve ser soldada ao tubo em toda a volta — para evitar a penetração de água —, ficando o conjunto do berço deslizante sobre o suporte.

Os tubos de materiais plásticos, inclusive os plásticos reforçados (tubos "FRP"), com diâmetro superior a 150 mm, devem, quando possível, ter a superfície de apoio cilíndrica, com o diâmetro externo do tubo, e abrangendo, no mínimo, 120° da circunferência. Com suportes fixos essa solução é entretanto difícil e cara, podendo-se adotar, como alternativa, a colocação de calhas de reforço nos tubos em todos os pontos de suporte. As calhas deverão ser coladas nos tubos, e do mesmo material plástico, podendo os tubos, nesse caso, ficar sobre superfície plana.

Em trechos longos de tubulações pesadas é às vezes necessário o emprego de dispositivos especiais para reduzir o atrito do tubo nos suportes, facilitando os movimentos de dilatação. Entre esses dispositivos existem os suportes de rolos [Fig. 11.5(*c*)] e as placas de deslizamento. Os suportes de rolos são peças compradas prontas, de aço ou de ferro fundido. As placas de deslizamento, de grafita autolubrificante ou de plástico (PTFE ("Teflon") ficam embutidas na superfície de apoio do suporte, e contra elas descansa a chapa inferior do berço do tubo. Essas placas apresentam um coeficiente de atrito muito baixo (*), e têm, sobre os rolos, as vantagens da simplicidade, menor custo, vida longa e dispensa de qualquer manutenção. As placas de deslizamento de PTFE só devem trabalhar em temperaturas até 200°C. Tanto os suportes de rolo como as placas de deslizamentos servem ainda para dar maior área de distribuição ao peso do tubo.

A redução do valor da força de atrito é principalmente importante no caso das tubulações sobre suportes elevados, como os mostrados nas Figs. 11.1(*c*), (*d*) e na Fig. 11.3, por exemplo. É fácil de entender que, pelo fato de a força de atrito ser horizontal, o esforço por ela exercido sobre a estrutura de suportes elevados é muito mais grave do que o exercido pela ação vertical dos pesos.

Em nenhum caso pode-se permitir que tubos com isolamento térmico descansem diretamente nos suportes, porque o próprio peso dos tubos e principalmente o movimento de deslizamento sobre os suportes, em conseqüência da dilatação, danificariam completamente o isolamento. Empregam-se então os patins (pipe-shoes), soldados ao tubo, mostrados nas Figs. 11.5(*d*), (*e*), que devem ter uma altura capaz de proteger o isolamento e um comprimento sufi-

(*) O coeficiente de atrito do aço sobre PTFE é da ordem de 0,04 comparado com 0,3 do atrito de aço sobre aço.

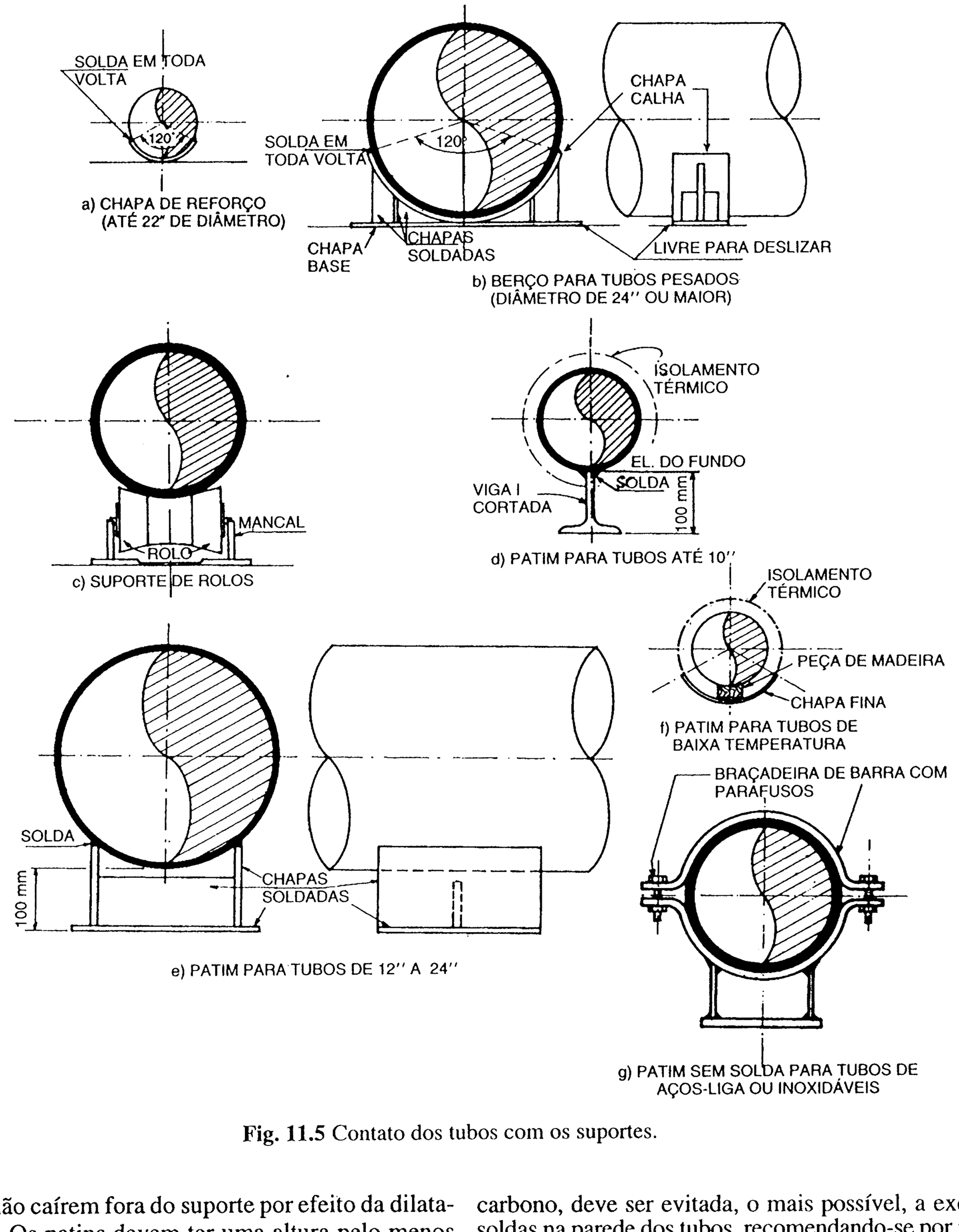


Fig. 11.5 Contato dos tubos com os suportes.

ciente para não caírem fora do suporte por efeito da dilatação do tubo. Os patins devem ter uma altura pelo menos igual à espessura do isolamento térmico, sendo usual que tenham uma altura mínima de 100 mm, e comprimento de 300 a 450 mm. Para tubos pesados, os patins devem ter uma área adequada de distribuição de carga — para evitar a carga concentrada na parede do tubo —, podendo ser, entre outros modelos, como mostrado na Fig. 11.5(*e*), ou como o berço da Fig. 11.5(*b*). Para os tubos que trabalham em temperaturas abaixo de zero, os patins devem ser não-metálicos (freqüentemente de madeira ou de materiais plásticos), para evitar a formação de gelo por condensação da umidade do ar.

Em tubulações de qualquer material diferente do aço-carbono, deve ser evitada, o mais possível, a execução de soldas na parede dos tubos, recomendando-se por isso o emprego de patins e berços com braçadeiras aparafusadas, sem soldas (Fig. 11.5(*g*)). Essa mesma recomendação aplica-se também a toda e qualquer outra peça soldada na tubulação, tais como ancoragens (Fig. 11.14), olhais de suspensão de pendurais e suportes de molas (Figs. 11.6 e 11.13) etc., que serão referidos nos Itens 11.5 e 11.8, a seguir, inclusive os berços para apoio dos tubos de grande diâmetro.

Devido à existência dos patins de proteção, as tubulações que tenham isolamento térmico ficam com a elevação de fundo mais alta do que as outras tubulações sem isolamento colocadas sobre o mesmo suporte; essa diferença de elevação é em geral de 100 mm.

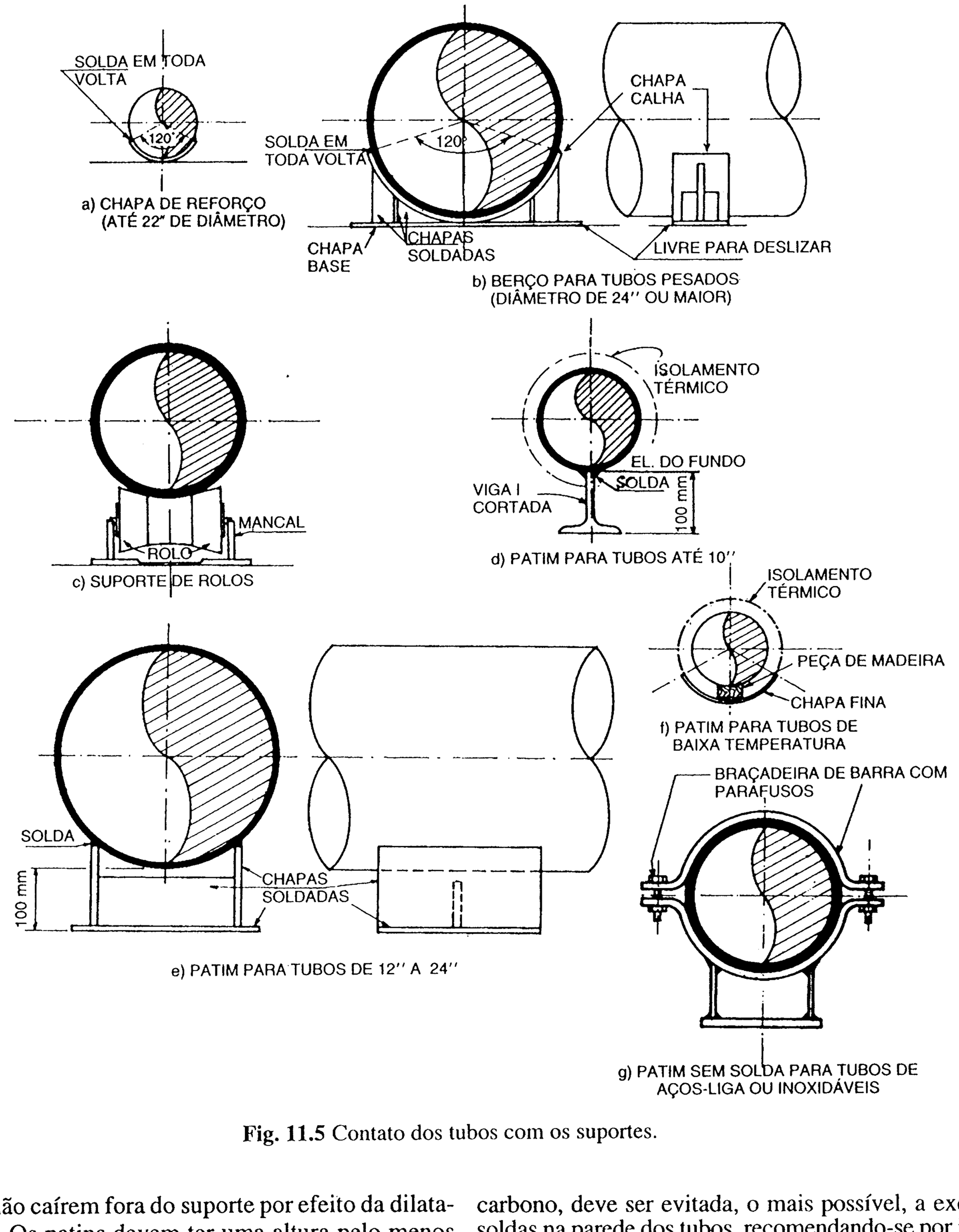


Fig. 11.5 Contato dos tubos com os suportes.

ciente para não caírem fora do suporte por efeito da dilatação do tubo. Os patins devem ter uma altura pelo menos igual à espessura do isolamento térmico, sendo usual que tenham uma altura mínima de 100 mm, e comprimento de 300 a 450 mm. Para tubos pesados, os patins devem ter uma área adequada de distribuição de carga — para evitar a carga concentrada na parede do tubo —, podendo ser, entre outros modelos, como mostrado na Fig. 11.5(*e*), ou como o berço da Fig. 11.5(*b*). Para os tubos que trabalham em temperaturas abaixo de zero, os patins devem ser não-metálicos (freqüentemente de madeira ou de materiais plásticos), para evitar a formação de gelo por condensação da umidade do ar.

Em tubulações de qualquer material diferente do aço-carbono, deve ser evitada, o mais possível, a execução de soldas na parede dos tubos, recomendando-se por isso o emprego de patins e berços com braçadeiras aparafusadas, sem soldas (Fig. 11.5(*g*)). Essa mesma recomendação aplica-se também a toda e qualquer outra peça soldada na tubulação, tais como ancoragens (Fig. 11.14), olhais de suspensão de pendurais e suportes de molas (Figs. 11.6 e 11.13) etc., que serão referidos nos Itens 11.5 e 11.8, a seguir, inclusive os berços para apoio dos tubos de grande diâmetro.

Devido à existência dos patins de proteção, as tubulações que tenham isolamento térmico ficam com a elevação de fundo mais alta do que as outras tubulações sem isolamento colocadas sobre o mesmo suporte; essa diferença de elevação é em geral de 100 mm.

11.5 Suportes Semimóveis, Suportes para Tubulações Verticais

Os suportes semimóveis (pendurais), mostrados na Fig. 11.6, são suportes que transmitem os pesos para cima, empregados principalmente para tubulações leves situadas dentro de prédios ou galpões, ou por baixo de lajes e outras estruturas. Para tubulações de plásticos, inclusive os plásticos reforçados, os suportes do tipo braçadeira devem ser usados preferencialmente, recomendando-se que tenham um ângulo mínimo de 120°, no contato com o tubo. Todos esses suportes dão grande liberdade de movimentos aos tubos; por essa razão, não devem ser empregados para tubos sujeitos a vibrações, choques dinâmicos, golpes de aríete etc. Quando for necessário limitar os movimentos laterais de tubos suportados por pendurais, devem ser colocados contraventos, como veremos adiante.

Os pendurais costumam ser feitos de vergalhões de aço dobrado, presos ao tubo por meio de orelhas soldadas ou de braçadeiras, e pendurados em vigas de aço, de concreto ou em outros tubos. Os pendurais devem ter um sistema qualquer para a ajustagem do comprimento durante a montagem, que pode ser um esticador com rosca direita e esquerda, ou simplesmente uma emenda soldada no campo, de comprimento ajustável. Para tubos até 2″ ϕ os vergalhões de aço devem ter um diâmetro mínimo de 1/2″; para tubos maiores, o diâmetro mínimo deve ser de 5/8″.

Os suportes para tubulações verticais consistem geralmente em pedaços de perfis ou em orelhas soldados à parede do tubo, descansando em vigas horizontais, ou presas por parafusos (Fig. 11.7). No caso de tubos leves, podemos sustentar o tubo simplesmente por meio de braçadeiras ou orelhas aparafusadas, como também mostra a Fig. 11.7. Para tubos muito pesados usam-se saias e reforços abraçando todo o tubo, para melhor distribuição de cargas.

Note-se que, para a simples sustentação do peso de uma tubulação vertical, qualquer que seja o seu diâmetro, o seu peso ou o seu comprimento, basta um único suporte, colocado próximo a sua extremidade superior, desde que devidamente dimensionado para suportar o peso da tubulação; esse é o procedimento adotado na maioria dos casos (veja Fig. 11.4). A existência de mais de um ponto de suporte em um mesmo trecho vertical de uma tubulação, além de em geral desnecessária, é também inconveniente, porque haverá — ou poderá haver — dilatação diferencial entre o tubo e a estrutura suportante, tornando os suportes inoperantes, ou introduzindo elevadas tensões na estrutura e no próprio tubo. Quando o peso da tubulação for muito grande, tornando inviável, ou antieconômico, um suporte único, poderão ser colocados outros suportes, que deverão entretanto ser suportes móveis (veja Item 11.7), de forma que possam acomodar o movimento vertical resultante da dilatação diferencial.

Para tubulações verticais longas, convém que sejam colocadas também guias (veja Item 11.12, a seguir), para controlar vibrações e movimentos horizontais.

11.6 Suportes Especiais para Tubulações Leves

Para o suporte de tubulações leves e pouco importantes (até 1½″ϕ), tanto horizontais como verticais, é freqüentemente mais econômico o emprego de ferragens compradas prontas no comércio, principalmente no caso de tubulações que correm isoladamente, isto é, sem formar grupos paralelos.

Há uma grande variedade dessas ferragens: braçadeiras, grampos, colares, pendurais etc., como mostram os exemplos da Fig. 11.8. A maioria dessas peças é fabricada de ferro maleável, geralmente galvanizadas, embora existam também de ferro fundido, de aço e de materiais plásticos. Várias dessas ferragens têm chumbador integral, para fixação direta em concreto ou em alvenaria.

Como já chamamos atenção no Item 11.3, deve ser sempre deixada a maior liberdade possível de movimentos aos tubos, e por esse motivo os grampos, braçadeiras etc. não devem ser apertados contra os tubos.

11.7 Suportes Móveis

Os suportes móveis são dispositivos capazes de se deslocar verticalmente, continuando, ao mesmo tempo, a sustentar o peso da tubulação, permitindo assim que a tubulação tenha um movimento vertical. Esses suportes são bem mais complicados e caros do que os suportes fixos, e por isso empregados somente quando indispensáveis. Em

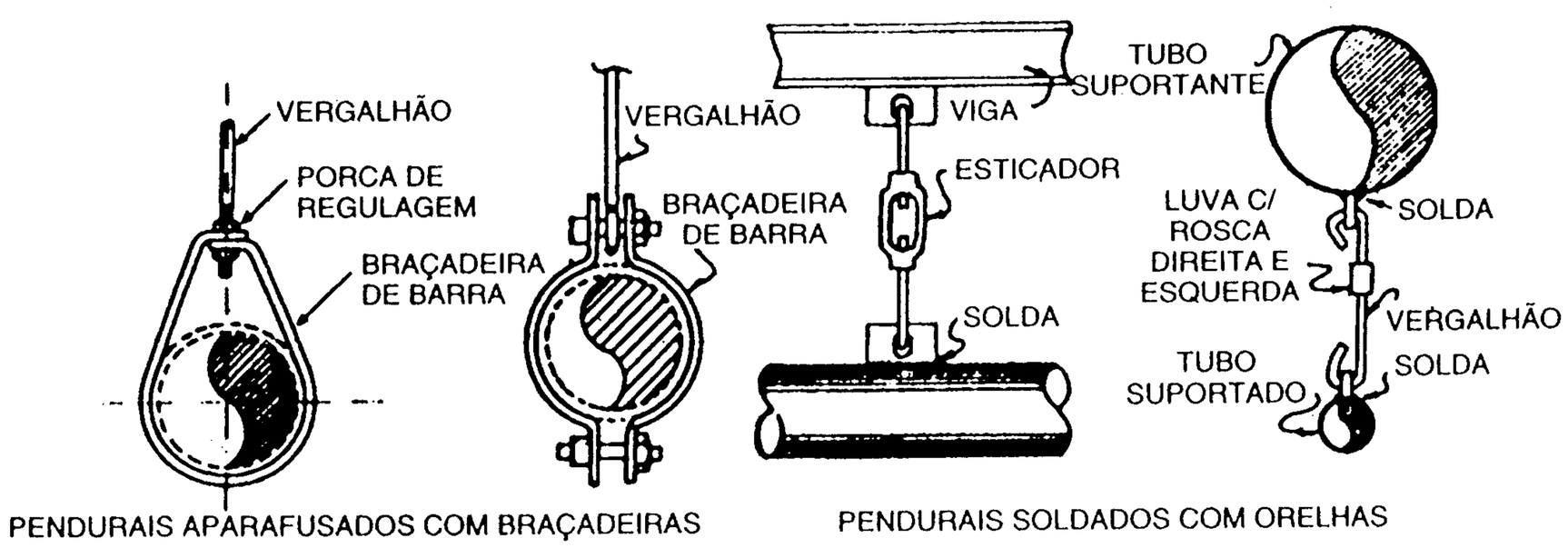


Fig. 11.6 Suportes semimóveis (pendurais).

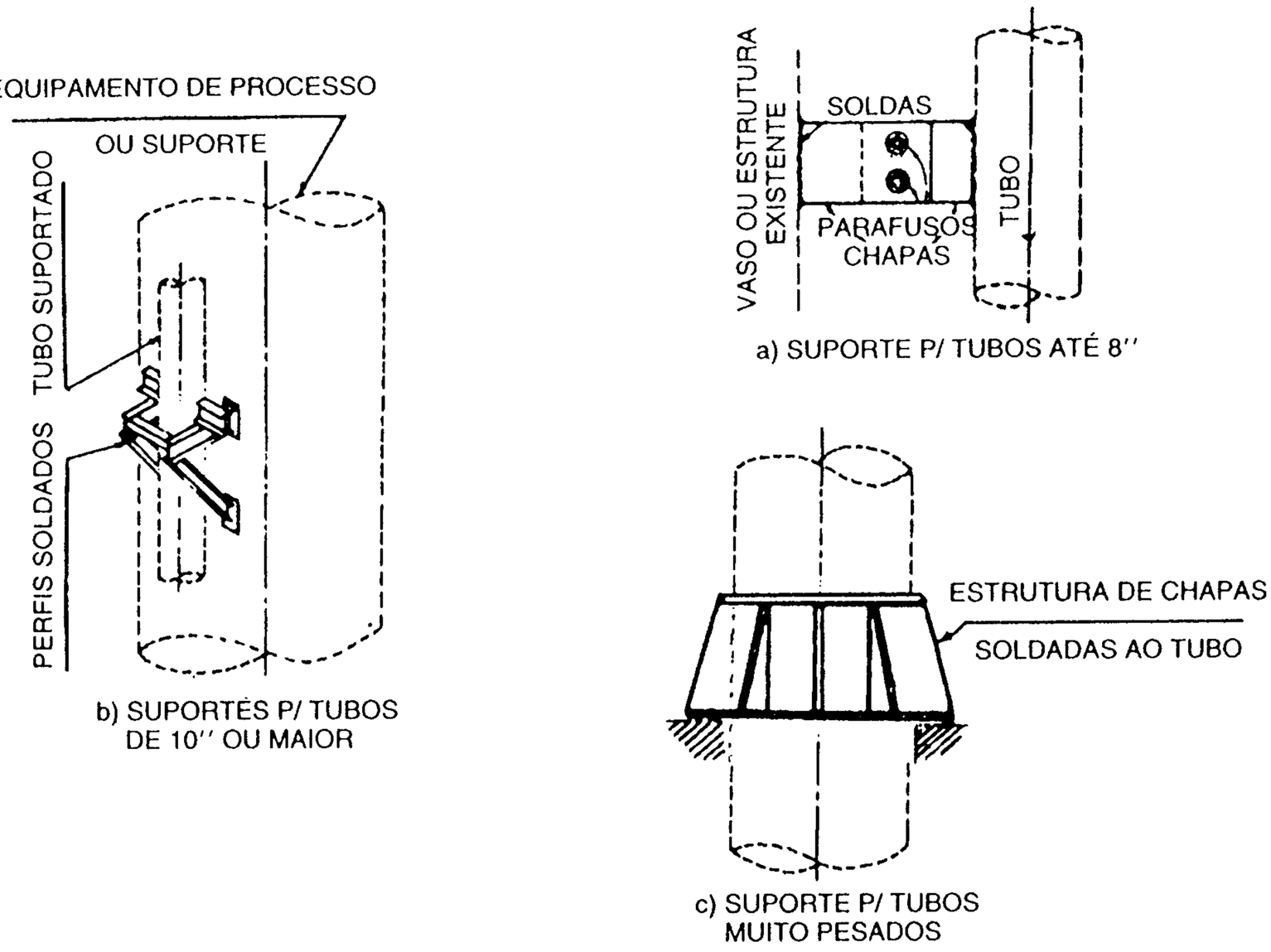


Fig. 11.7 Suportes para tubos verticais.

tubulações horizontais devem ser empregados nos pontos de suporte em que a tubulação apresentar um movimento vertical de amplitude superior à flecha natural causada pela simples flexão do tubo — devido ao próprio peso — no vão compreendido entre dois suportes consecutivos (veja o livro "Tubulações Industriais — Cálculo", Item 4.9). A Fig. 11.9 mostra dois casos de tubulações sujeitas a movimentos verticais conseqüentes da dilatação de um vaso: para a tubulação A-B, a amplitude do movimento é pequena (menor do que a flecha natural), e assim não há necessidade de suporte móvel porque a tubulação não chega a se levantar do suporte B. Mas, para a tubulação C-D em que a amplitude é maior, deve-se ter um suporte móvel no ponto D, para acompanhar o movimento vertical, evitando que a tubulação se levante do suporte D.

Em trechos verticais de tubulação os suportes móveis são necessários sempre que no ponto de suporte a tubulação tiver movimento vertical em relação à estrutura suportante. Isso acontece quase sempre em trechos verticais longos, com mais de um ponto de suporte, em conseqüência da dilatação diferencial entre a tubulação e a estrutura suportante, e também em suportes intermediários, como o suporte D, da Fig. 11.10. Veja também a Fig. 11.4.

Em alguns casos há também necessidade de colocação de suportes móveis próximo a bocais de equipamentos, em tubulações sujeitas a movimentos verticais, com a finalidade de evitar esforços excessivos sobre esses bocais, ainda que o movimento vertical seja pequeno e possa perfeitamente ser absorvido pela flexão dos trechos livres horizontais da tubulação.

Os movimentos verticais das tubulações, que podem se dar para cima ou para baixo, são causados pela dilatação de trechos verticais da própria tubulação, ou por movimentos de pontos extremos, conseqüentes da dilatação de tanques, torres, vasos e outros equipamentos, ou ainda pela dilatação de outros tubos ligados ao tubo em questão.

Na Fig. 11.10(*a*) vemos, por exemplo, um caso típi-

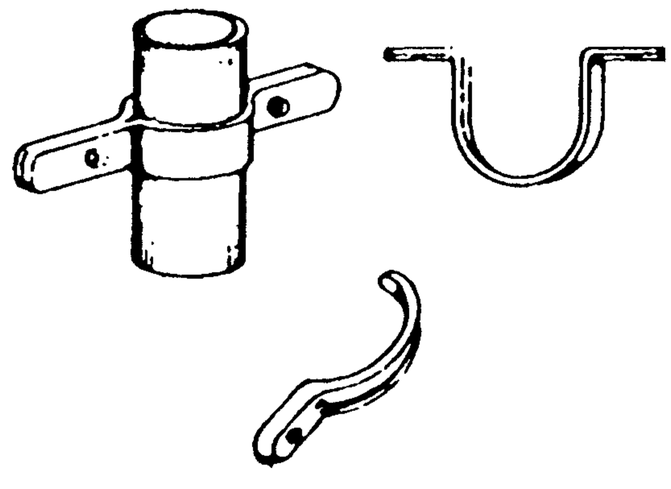


Fig. 11.8 Suportes para tubos leves.

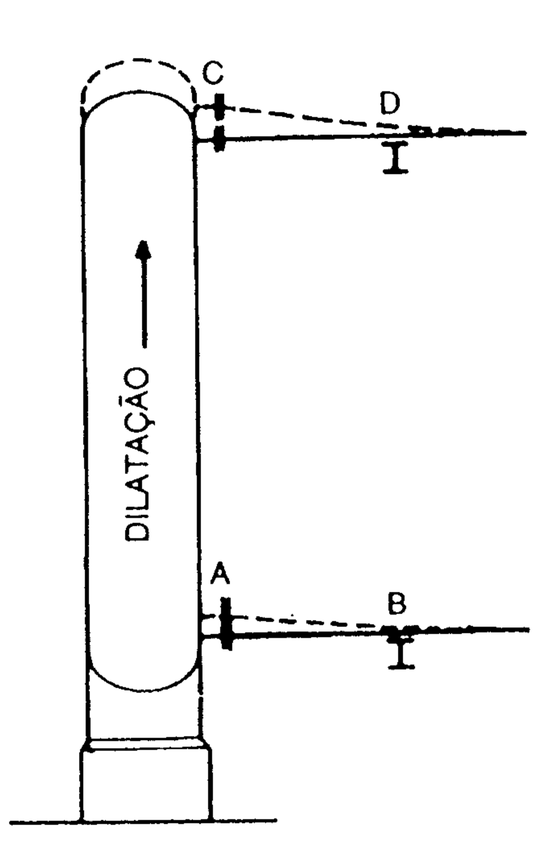


Fig. 11.9 Emprego de suportes móveis.

co de movimento vertical para cima, causado pela dilatação de um trecho vertical do próprio tubo. Se os suportes nos pontos A e B fossem fixos, ficariam inoperantes, porque a tubulação se levantaria dos mesmos, resultando em um vão efetivo entre suportes muito maior do que o admissível, com as conseqüentes tensões excessivas no tubo e maior tendência a vibrações. Observe-se que, quando um suporte fica inoperante (por estar desnivelado, ou porque a tubulação se levantou), fazendo com que o vão entre suportes fique o dobro do valor de projeto, a tensão de flexão causada no tubo pela ação dos pesos ficará multiplicada por quatro, porque é proporcional ao quadrado do vão. Há também, nesse caso, uma transferência de carga, sobrecarregando os suportes vizinhos, porque o peso da tubulação permanece o mesmo. É evidente que todos esses efeitos são indesejáveis. A Fig. 11.10(*b*) mostra um exemplo de movimento vertical para baixo, causado ainda pela dilatação de um trecho vertical. Nesse caso, o suporte fixo no ponto A sofrerá forte compressão e a tubulação também sofrerá forte compressão com flambagem. A dilatação de longos trechos verticais poderá causar, em certos casos, simultaneamente, um movimento para cima em um extremo e para baixo no outro.

Nas Figs. 11.10(*c*) e (*d*) estão exemplificados dois casos, semelhantes aos anteriores, cujos movimentos verticais são conseqüência de dilatações próprias de vasos ligados à tubulação. A Fig. 11.10(*a*) mostra ainda como poderá ocorrer movimento vertical em um ramal, devido à dilatação de outro tubo ao qual o ramal esteja ligado.

Em todos os exemplos da Fig. 11.10, deverão ser colocados suportes móveis nos pontos marcados SM; onde está indicado SF poderão ser empregados suportes fixos.

Existem três tipos gerais de suportes móveis:

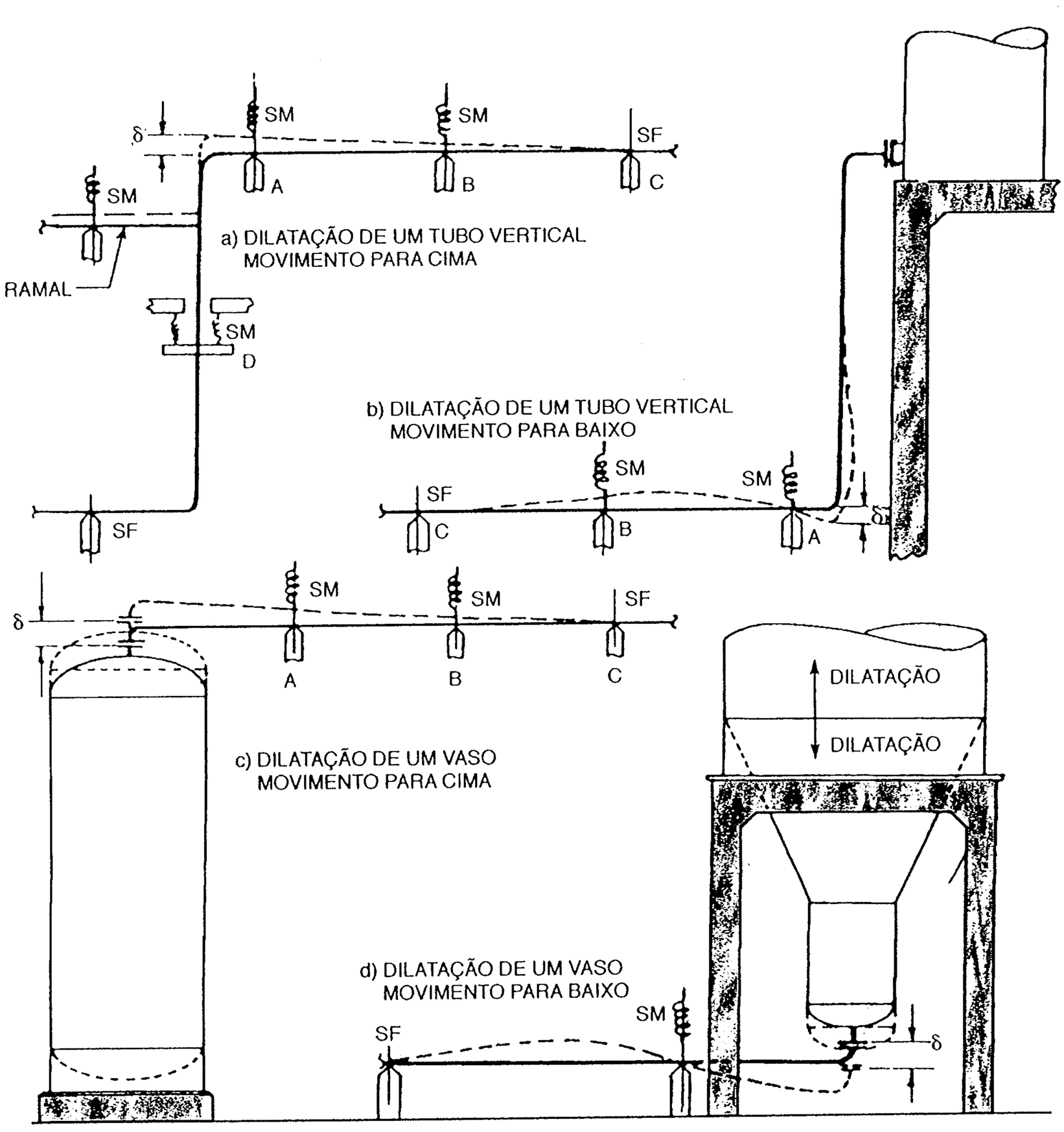


Fig. 11.10 Empregos de suportes móveis.

— Suportes de mola simples, ou de carga variável.
— Suportes de mola de carga constante.
— Suportes de contrapeso.

11.8 Suportes de Mola

Os suportes de mola de carga variável (spring-hangers) são os dispositivos de suporte móvel de uso mais freqüente; consistem em uma mola helicoidal de aço, geralmente dentro de uma caixa também de aço, de maneira que o peso da tubulação seja suportado diretamente pela mola, tendendo a comprimi-la.

Esses suportes são chamados de carga variável por que a força necessária para comprimir a mola aumenta à medida que a compressão aumenta, isto é, a cada posição de compressão da mola (e, portanto, a cada posição vertical da tubulação) corresponde uma capacidade de suporte diferente. Como entretanto o peso da tubulação é constante, há sempre, nesses suportes, alguma transferência de carga (positiva ou negativa) para os suportes vizinhos, em conseqüência do movimento vertical da tubulação. A variação da capacidade de suporte será tanto maior quanto menor for o comprimento da mola, e vice-versa. A Fig. 11.11 mostra em corte um suporte de carga variável.

Os suportes de carga constante são aparelhos também com mola de aço (Fig. 11.12) nos quais o peso da tubulação, em lugar de estar diretamente sobre a mola, age através de um jogo de alavancas e articulações colocadas de tal maneira que o braço de alavanca que atua sobre a mola aumenta à medida que a compressão aumenta, exigindo maior esforço para comprimir a mola. Dessa forma, a capacidade de suporte do aparelho fica praticamente constante ao longo de todo o curso de compressão da mola. Nesses suportes, um peso de um determinado valor ficará em equilíbrio indiferente; o contrário acontece nos suportes de carga variável, para os quais a cada valor de um peso corresponde uma única posição de equilíbrio. Os suportes de carga constante são bem mais caros do que os de carga variável, e por isso mesmo de uso mais restrito.

Empregam-se suportes de mola de cargas constante quando a variação da carga suportada e/ou os esforços provenientes dessa variação forem incompatíveis com os limites de carga sobre os suportes, bocais de equipamentos etc. Como orientação geral, pode-se dizer que são os seguintes os casos em que se justifica o emprego de suportes de carga constante:

1. Quando os deslocamentos verticais forem muito grandes (50 mm ou mais).
2. Quando a carga suportada for muito grande.
3. Quando a colocação de um suporte de carga variável resultar em uma variação de carga superior a 20%.

Mesmo nos suportes de carga constante, existe alguma variação da carga suportada; a norma ASME B.31 (Seções 1 e 3) exige que essa variação seja no máximo de 6%, em todo curso de movimento vertical do suporte. Nos suportes de mola de carga variável, a variação de carga suportada, em todo curso do aparelho, pode chegar a 25%, embora, como vimos antes, quando a variação ultrapassa 12%, recomenda-se o emprego de suportes de carga constante.

A Fig. 11.13 mostra várias disposições usuais de suportes de mola em tubulações horizontais e verticais. Para as tubulações horizontais, os suportes de mola podem ser apoiados ou pendurados, sendo os pendurados adotados na grande maioria dos casos, porque raramente há espaço por baixo da tubulação para acomodar o aparelho, mantendo-se a mesma elevação das outras tubulações paralelas. As Figs. 11.11 e 11.12 mostram suportes de mola pendurados; nos aparelhos apoiados, a construção é diferente, ficando o peso da tubulação diretamente comprimindo a mola, estando o suporte de mola assentado em alguma estrutura ou piso. Para tubos verticais, bem como para tubos horizontais pesados, empregam-se suportes de mola múltiplos, com dois ou mais aparelhos iguais geminados.

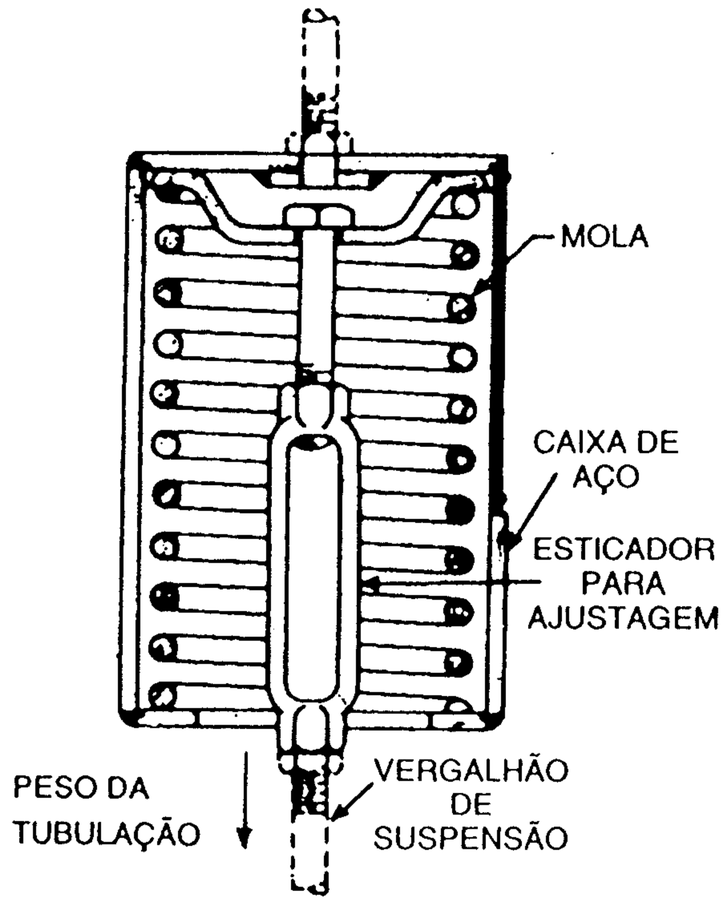


Fig. 11.11 Suporte de mola de carga variável. (*Cortesia de Grinnell Company Inc.*)

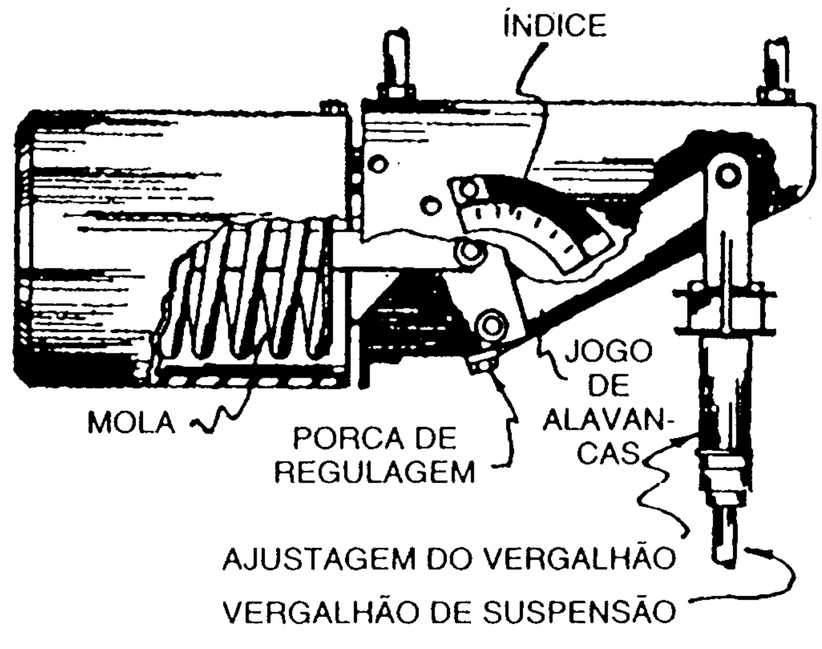


Fig. 11.12 Suporte de mola de carga constante. (*Cortesia de Grinnell Company Inc.*)

Nos suportes pendurados, as caixas de aço das molas têm, na parte superior, olhais onde são engatados elos ou vergalhões de aço presos a vigas ou estruturas. O peso dos tubos transmite-se aos aparelhos por meio de vergalhões de aço, presos aos tubos através de braçadeiras ou de orelhas soldadas. Todos os suportes de mola, pendurados ou apoiados, costumam ter um índice, por fora da caixa, dando uma indicação visual imediata da posição de compressão da mola.

Todos os suportes de molas possuem também um dispositivo (porca, esticador etc.) que permite uma regulagem local da posição vertical da tubulação, dentro de certos limites, para compensar possíveis erros no cálculo dos pesos ou na posição exata do aparelho.

Os suportes de mola, de qualquer tipo, são sempre aparelhos comprados prontos e completos. Quando recebidos da fábrica, as molas costumam vir com a calibragem correta, para dar a capacidade de suporte e movimento que foram pedidas. Para a encomenda de suportes de mola de qualquer tipo, devem ser fornecidos os seguintes dados:

— Tipo de suporte (carga variável ou carga constante).
— Carga a suportar, em montagem e em operação — Constante da mola.
— Movimento vertical máximo necessário (função do movimento vertical do tubo no ponto considerado). Deve ser indicado se o movimento é para baixo, para cima ou em ambos os sentidos.
— Disposição desejada de pendurar ou de suportar.
— Espaço disponível.
— Esquema da tubulação (em isométrico) mostrando dimensões e localização de todos os suportes.
— Existência ou não de vibrações.
— Movimento lateral máximo.

Fabricam-se suportes de carga variável para cargas até 150 KN (≅15 t) e movimentos até 200 mm, e de carga constante para cargas até 300 KN (≅ 30 t) e movimentos até 400 mm. Na encomenda de um suporte de molas, o curso pedido (movimento máximo) deve ser sempre um pouco maior do que o deslocamento máximo calculado da tubulação, para compensar possíveis imprecisões de cálculo.

No Cap. 8 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo", encontram-se exemplos de cálculo das cargas e dos movimentos nos suportes de mola.

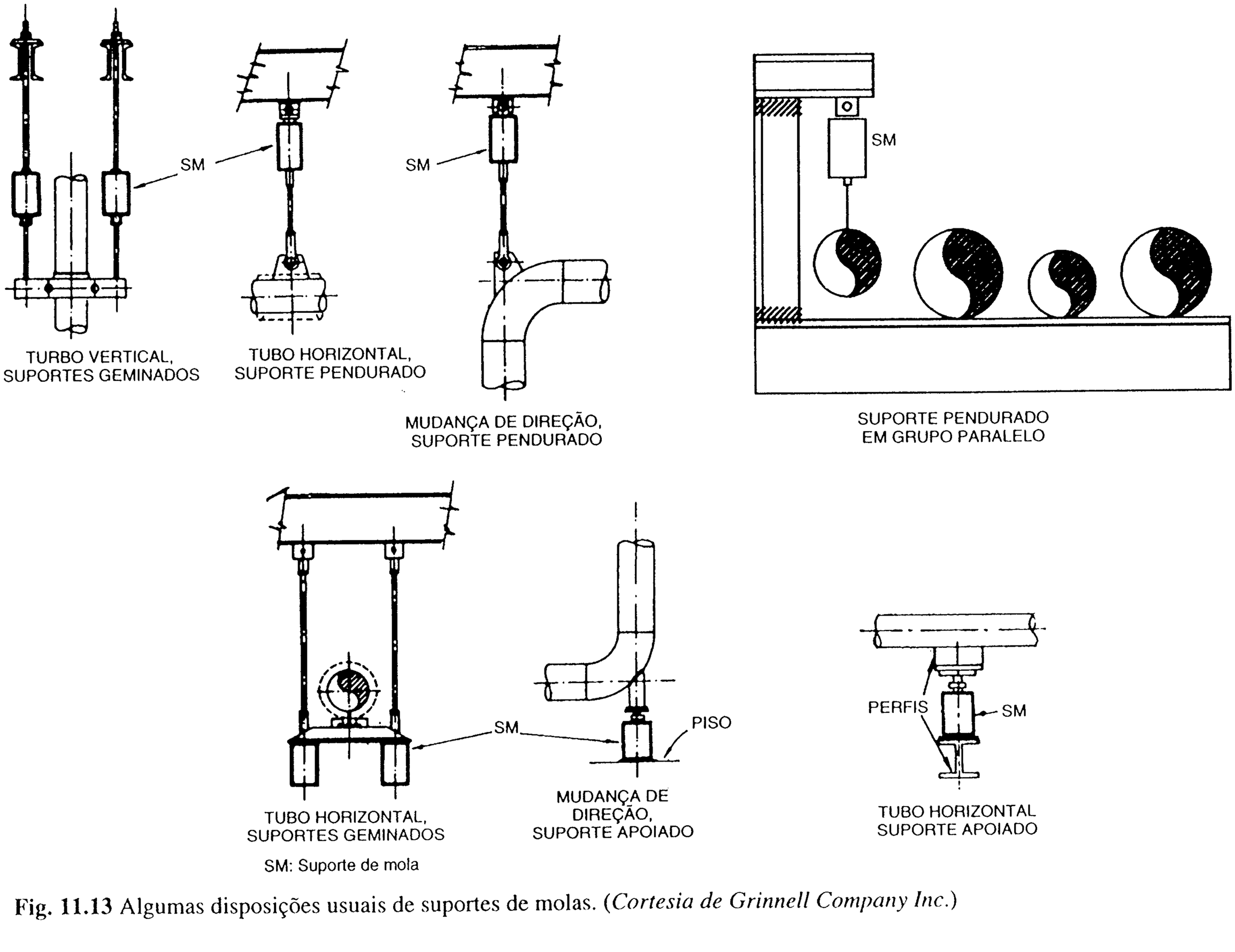


Fig. 11.13 Algumas disposições usuais de suportes de molas. (*Cortesia de Grinnell Company Inc.*)

11.9 Suportes de Contrapeso

Os suportes de contrapeso são aparelhos muito simples, consistindo, como mostra a Fig. 11.14, em um contrapeso associado a um conjunto de roldanas e cabos de aço ou a uma alavanca. Esses suportes dão muita liberdade ao tubo suportado e têm, evidentemente, uma capacidade de suporte rigorosamente constante, porque igual à força exercida pelo contrapeso. São usados principalmente quando se têm grandes cargas simultaneamente com grandes deslocamentos verticais.

Os contrapesos devem ter dispositivos de segurança contra quedas e também limitadores de curso. Para maior segurança, os contrapesos devem, sempre que possível, ficar no nível do solo, e com guias laterais, como mostra a Fig. 11.14. O contrapeso deve ser calculado de forma que tenha o peso um pouco menor do que a tubulação a ser suportada, para evitar que por imprecisão de cálculo a tubulação fique depois com tendência a ser puxada para cima. O contrapeso deve ser regulável, mediante a adição ou remoção de pequenos pesos ou pela movimentação do contrapeso na alavanca, para garantir o ajuste certo do peso depois do conjunto instalado.

Apesar de sua simplicidade, esses dispositivos são na prática de uso bastante raro devido às seguintes grandes desvantagens:

— A carga sustentada pela estrutura é aumentada do peso do contrapeso.
— Tendência a vibrações.
— Considerável espaço ocupado e atravancamento, principalmente em locais congestionados.

11.10 Suportes que Limitam os Movimentos das Tubulações

Como já vimos no Item 11.1, são quatro os tipos gerais mais importantes de suportes que restrigem os movimentos das tubulações: ancoragens, guias, batentes e contraventos.

As ancoragens são pontos de fixação total, isto é, são suportes que restringem completamente todos os movimentos da tubulação. As guias mais comumente empregadas são dispositivos que impedem os movimentos laterais da tubulação. Existem também guias transversais, que impedem os movimentos longitudinais, e guias de pinos, que permitem somente os movimentos angulares e longitudinais. Os batentes impedem somente o movimento longitudinal, em um sentido ou em ambos os sentidos. Os contraventos são dispositivos que a rigor não deveriam estar incluídos entre os suportes de tubulação, porque não suportam os pesos exercidos pelos tubos, limitando apenas os movimentos laterais dos mesmos.

Todos os dispositivos de restrição não têm evidentemente, na realidade, uma eficiência total, que exigiria uma rigidez absoluta do suporte e uma imobilidade também absoluta da estrutura ou fundação a que o mesmo esteja ligado. Por essa razão, nenhum desses dispositivos impede de maneira total os movimentos que teoricamente deveria impedir.

A Fig. 11.15 mostra vários modelos usuais desses suportes. Quanto mais pesada for a tubulação, mais robustos têm de ser os dispositivos, porque maiores serão as forças e momentos de reação a que deverão resistir. Além de maior robustez, deve ser prevista também, para os tubos grandes, uma melhor distribuição de tensões nas paredes, para evitar concentrações de esforços e mesmo o colapso do tubo.

Nas ancoragens em geral é feita a soldagem direta do tubo na chapa ou na viga de apoio, por intermédio de barras chatas, perfis ou estruturas especiais. Em algumas ancoragens usam-se chumbadores presos diretamente ao piso ou algum suporte ou estrutura de concreto.

Em tubulações de qualquer material diferente de aço-carbono, as ancoragens devem ser com braçadeiras aparafusadas, ou outros recursos que dispensem soldagens — como para os patins —, de forma a evitar soldas dissimilares nas paredes dos tubos de elementos estruturais de aço-carbono. As ancoragens para tubos de materiais plásticos são também desse tipo, como o exemplo mostrado na Fig. 11.15.

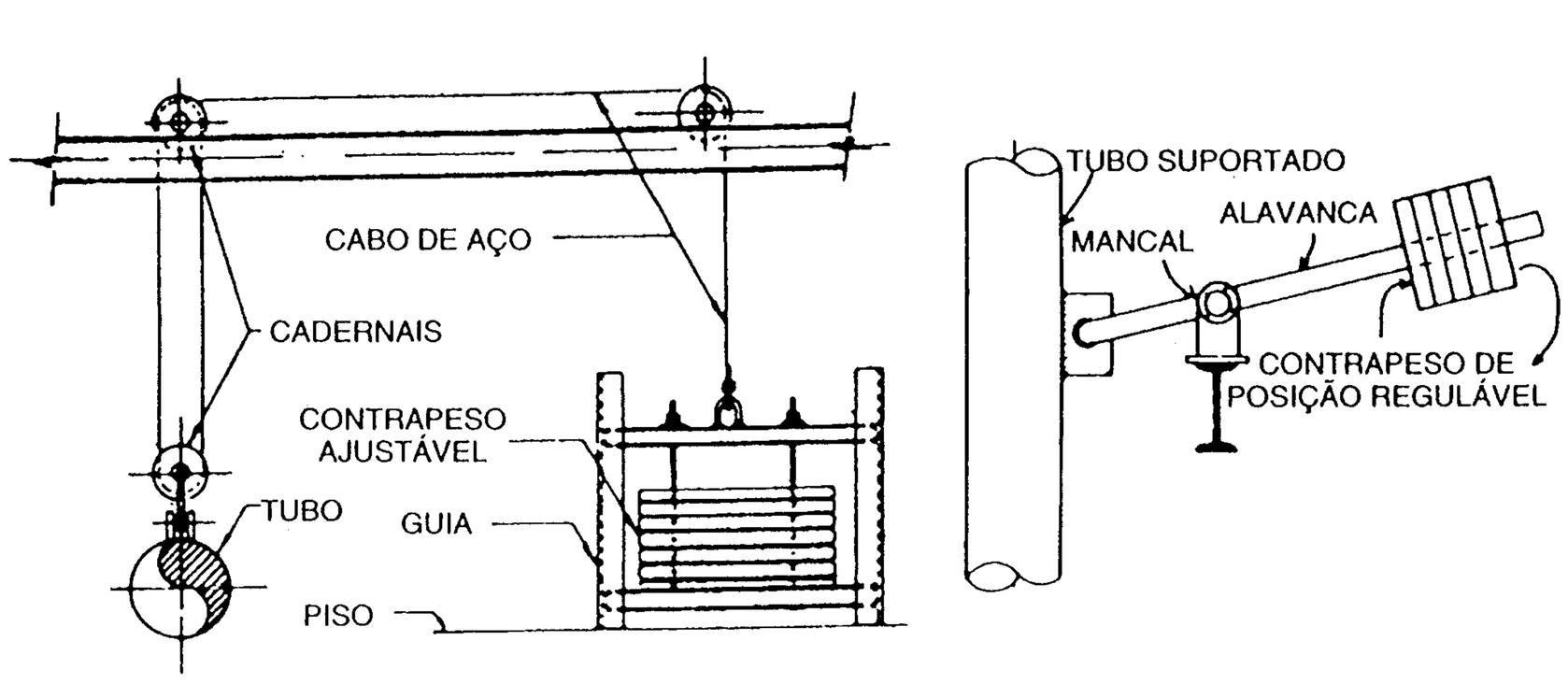
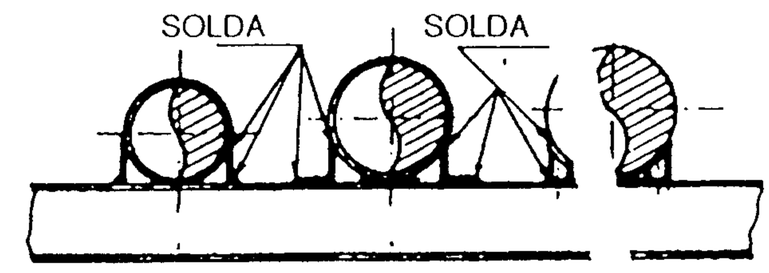
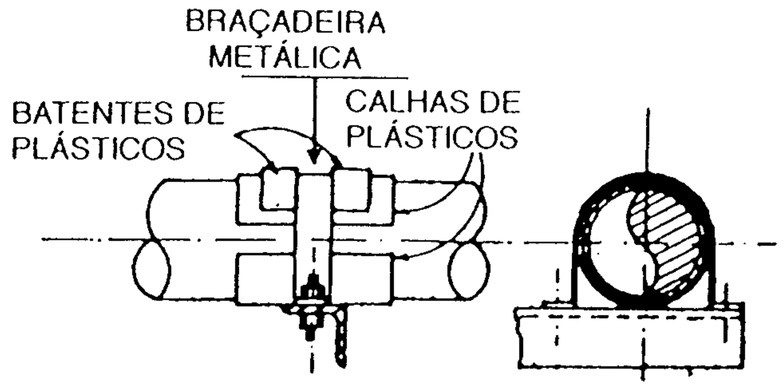


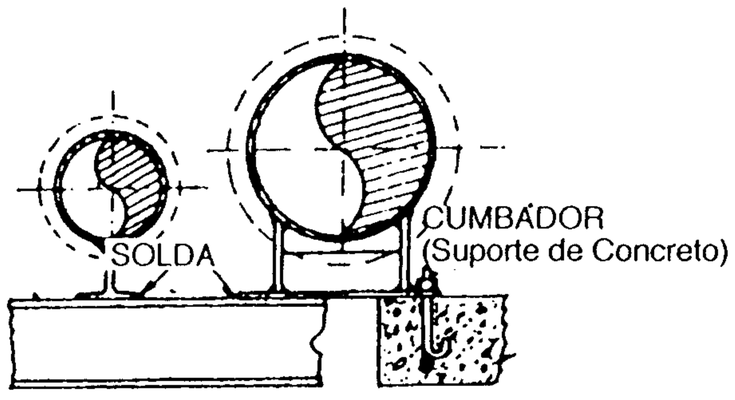
Fig. 11.14 Suportes de contrapeso.



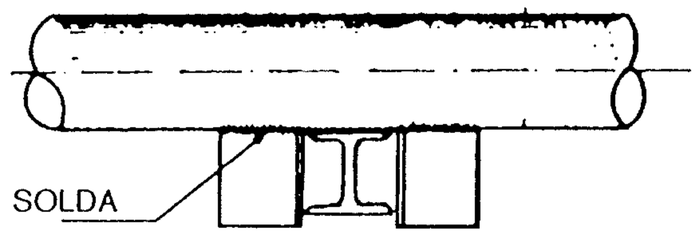
ANCORAGENS PARA TUBOS NÃO-ISOLADOS



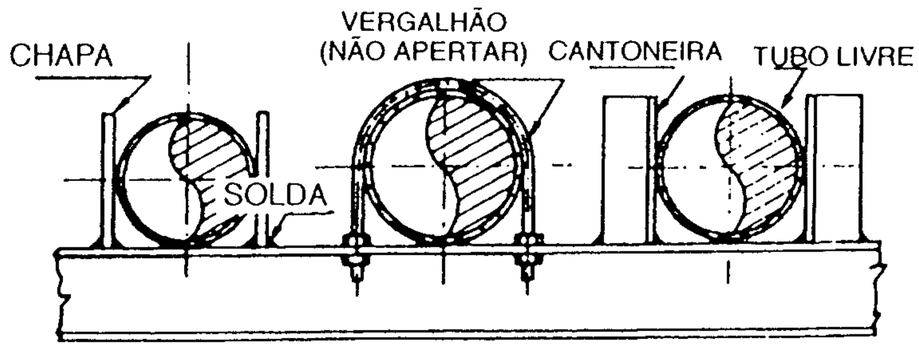
ANCORAGEM PARA TUBOS PLÁSTICOS
(AS CALHAS SÃO COLADAS AO TUBO)



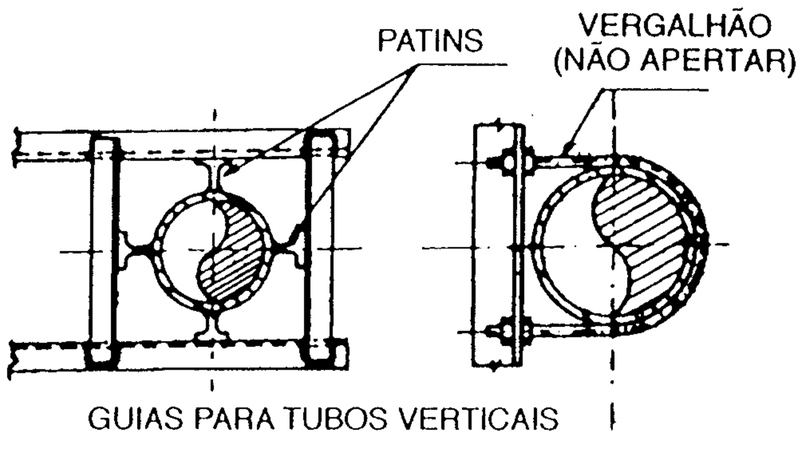
ANCORAGENS PARA TUBOS ISOLADOS



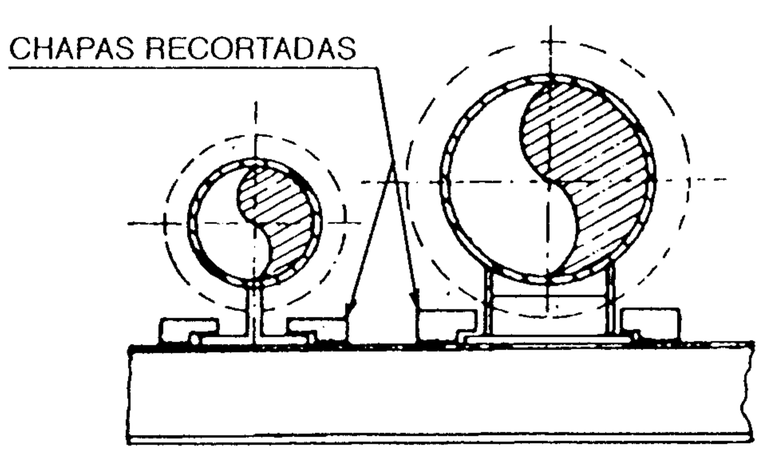
GUIA TRANSVERSAL



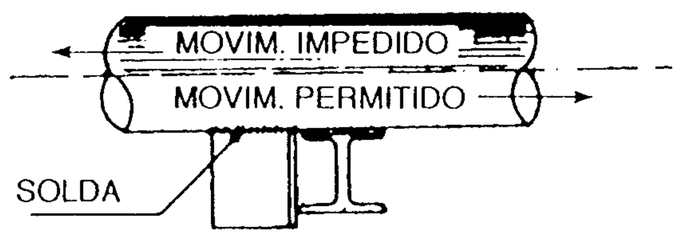
GUIAS PARA TUBOS NÃO-ISOLADOS



GUIAS PARA TUBOS VERTICAIS



GUIAS PARA TUBOS ISOLADOS



BATENTE

Fig. 11.15 Ancoragens, guias, batentes e contraventos.

As guias para os tubos horizontais consistem, na maioria das vezes, em barras chatas ou em perfis, soldados também na viga ou na chapa de apoio, deixando uma pequena folga (1,5 mm a 3 mm) de cada lado do tubo. Quanto maior for o diâmetro do tubo, maior terá de ser o comprimento da guia (medido paralelamente ao tubo), para evitar possíveis movimentos angulares da tubulação. As guias usadas para os tubos horizontais geralmente não impedem o movimento vertical do tubo, que é combatido simplesmente pelo peso da tubulação.

As guias para os tubos verticais devem limitar os movimentos transversais da tubulação em duas direções ortogonais, como mostra o exemplo da Fig. 11.15.

Tanto para tubos horizontais como verticais, as guias podem também ser simplesmente grampos de vergalhões aparafusados; é importante que os grampos não sejam apertados contra a tubulação.

Para os tubos com isolamento térmico, as ancoragens, guias e batentes devem ser modificados para conter o patim de proteção do isolamento. As ancoragens em geral consistem, nesse caso, no próprio patim, que é soldado ou chumbado à superfície de apoio.

Os contraventos resumem-se freqüentemente a vergalhões de aço engatados em braçadeiras ou em orelhas soldadas ao tubo, trabalhando apenas à tração. Empregam-se os contraventos para evitar movimentos laterais em tubos suportados por pendurais ou suportes de molas, caso em que muitas vezes não é possível a colocação de guias.

11.11 Finalidades dos Suportes que Limitam os Movimentos das Tubulações

Do ponto de vista da flexibilidade, o ideal seria que as tubulações não tivessem nenhuma restrição de movimentos, isto é, que pudessem dilatar-se e movimentar-se livremente para todos os lados quando ocorressem variações de temperatura. Se essa situação fosse possível, não haveria o aparecimento de tensões na tubulação, como está explica-

do no Cap. 5 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo". Na prática, essa situação ideal é irrealizável, porque, ainda que não houvesse dispositivos especiais para limitar os movimentos, os pontos extremos de fixação da tubulação nos vasos e equipamentos bem como o atrito nos suportes por si só já constituiriam restrições ao livre movimento da tubulação.

Embora qualquer restrição aos movimentos tenda a diminuir a flexibilidade natural das tubulações, essas restrições são freqüentemente necessárias pelos seguintes motivos:

a) Orientar e dirigir os movimentos causados pela dilatações térmicas, fazendo com que esses movimentos aconteçam tal como previsto no projeto e não de uma forma aleatória qualquer.

b) Proteger os pontos fracos do sistema composto pelos equipamentos e tubulações.

c) Evitar interferências, isto é, evitar que as tubulações, ao se dilatarem, esbarrem umas contra as outras, ou contra paredes, estruturas, equipamentos etc.

d) Evitar flechas exageradas, na própria tubulação, por efeito de flambagem, ou em um tubo-tronco, pela dilatação de um ramal a ele ligado.

e) Ancorar as tubulações nos pontos de travessia de limites de propriedade e de limites de áreas, para evitar a transmissão de esforços e de movimentos de um lado para outro, e permitir que o projeto da tubulação, em ambos os lados, possa ser feito de forma independente um do outro.

f) Subdividir sistemas muito complexos ou pelo menos simplificar o seu comportamento quanto à dilatação térmica, para facilitar o projeto e estudo da flexibilidade.

g) Aumentar a capacidade de auto-suporte da linha, permitindo, em certos casos, um maior espaçamento entre os suportes.

h) Isolar as vibrações ou aumentar a freqüência natural das mesmas, para diminuir a amplitude e evitar ressonâncias.

É fácil de se entender que a tubulação, caso seja deixada a esmo, poderá, em muitos casos, ter movimentos completamente diferentes dos que foram previstos no projeto. Por exemplo, em um tubo reto longo, com uma curva de expansão, prevê-se no projeto que apenas a curva de expansão se deforme. Na prática, é evidente que, se não forem colocadas guias nos trechos retos antes e depois da curva de expansão, teremos sempre flambagens e outras deformações nesses trechos retos, e não somente as deformações previstas na curva de expansão. Essas flambagens laterais e outras deformações podem tensionar o tubo em excesso, e podem também fazer o tubo esbarrar em obstáculos ou cair dos suportes. Outros exemplos semelhantes poderiam ser dados de efeitos indesejáveis dos movimentos arbitrários de uma tubulação, mostrando a necessidade de se obrigar que os movimentos se dêem apenas tais como previsto no projeto, o que é conseguido justamente pela seleção e localização adequada dos dispositivos de restrição de movimentos; vejam-se os exemplos das guias G-2 e G-3 e do batente B-1, Fig. 11.16.

Outra finalidade importante desses dispositivos é a proteção dos pontos fracos do sistema constituído pelas tubulações e equipamentos interligados, para prevenir esforços exagerados, distorções, vazamentos ou mesmo rupturas. São pontos fracos de um sistema:

— Tubos e derivações de aço de pequeno diâmetro (até 2″), ou de qualquer diâmetro quando materiais de baixa resistência mecânica, que podem empenar ou romper em conseqüência de movimentos exagerados na linha-tronco.
— Máquinas e equipamentos que tenham peças em movimento, principalmente quando com carcaça de ferro fundido. Os esforços exagerados sobre os bocais podem desalinhar eixos, causar desgaste em mancais, vazamentos em engaxetamentos, causar vibrações, ou até mesmo fraturar a carcaça.
— Válvulas flangeadas ou outras ligações flangeadas em geral, que podem apresentar vazamentos com esforços de flexão ou de torção.
— Juntas de expansão em geral. Muitas dessas peças só admitem movimentos axiais, e todas poderão ser gravemente danificadas por movimentos de torção na tubulação.
— Ligações rosqueadas em geral.

Os tubos de aço (qualquer tipo de aço) ou de metais não-ferrosos de resistência mecânica equivalente, de diâmetros médios e grandes (4″-6″, ou maiores) são vigas bastante robustas, não necessitando assim de nenhuma proteção especial.

A localização de todos os pontos de suporte das tubulações, bem como dos dispositivos de restrição de movimentos, deve ser sempre estudada simultaneamente com a flexibilidade. Como está explicado no Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo", uma pequena modificação na natureza ou na localização dos dispositivos de limitação de movimentos pode alterar muito o valor dos esforços nos tubos e das reações nas extremidades.

Para todas as finalidades antes descritas, o uso de ancoragens deve ser limitado, se possível, apenas aos casos em que haja necessidade de se impedir totalmente a propagação de esforços ou vibrações, porque esses dispositivos, devido à fixação total, restringem muito a flexibilidade natural das tubulações. Para a maioria dos casos de limitação e orientação dos movimentos de dilatação e, também, para a proteção de equipamentos e de outros pontos fracos, não há em geral necessidade de fixação total; dessa forma, o uso adequado de guias, batentes e contraventos satisfaz inteiramente.

11.12 Exemplos de Emprego e Localização dos Dispositivos de Limitação de Movimentos

Vamos dar a seguir os casos mais freqüentes de emprego e de localização de ancoragens, guias e batentes em

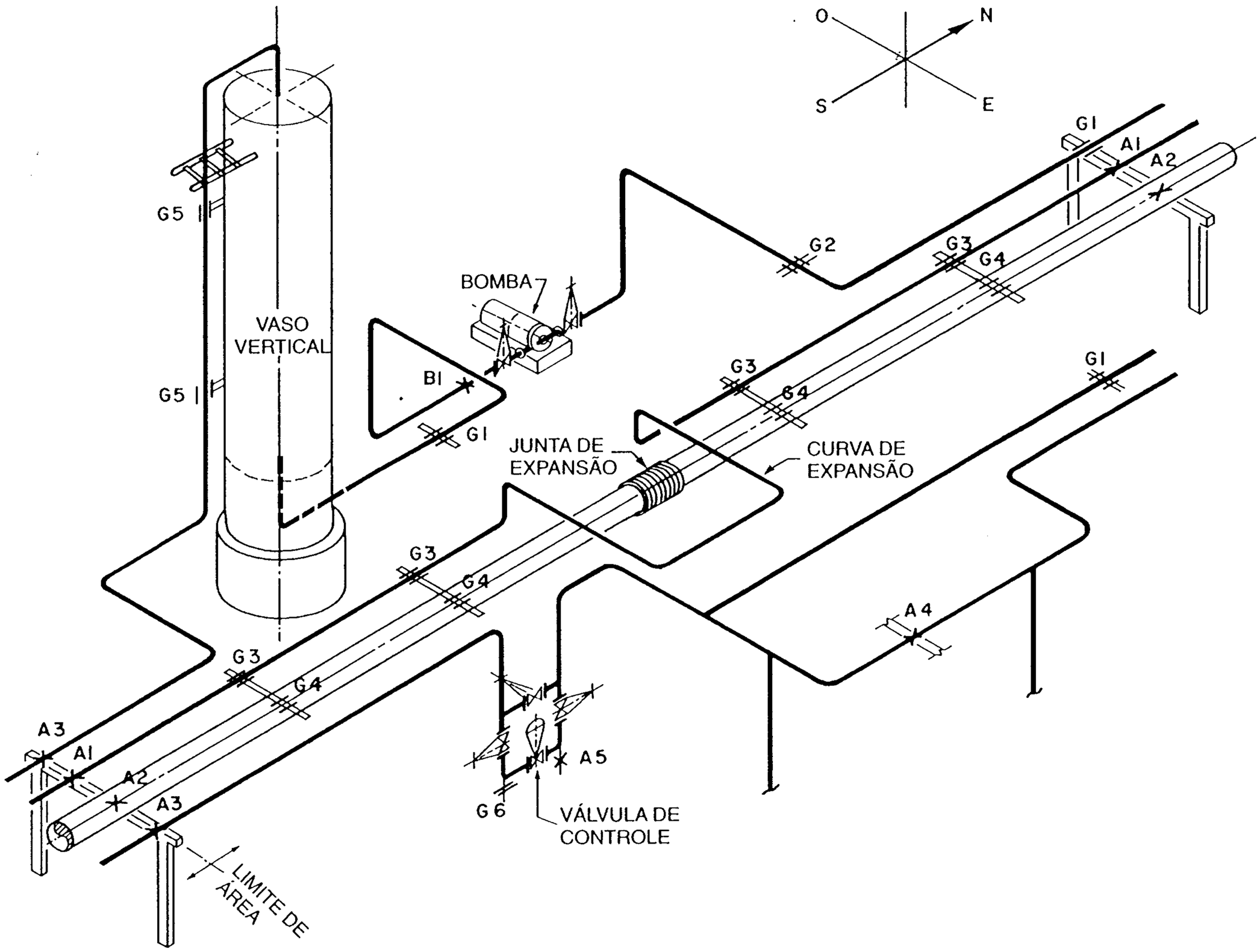


Fig. 11.16

tubulações; a Fig. 11.16 mostra a maioria desses casos de emprego.

1. Ancorágens — As ancoragens são empregadas principalmente nos seguintes casos:

a) Subdivisão de linhas longas — As tubulações de direção geral retilínea e de grande extensão devem ser subdivididas em trechos parciais, por meio de ancoragens intermediárias (ancoragens A-1, da Fig. 11.16), devendo cada trecho entre duas ancoragens ter uma curva de expansão independente. A finalidade dessa subdivisão é evitar dilatações totais de grande amplitude, que exigiriam curvas de expansão de grandes dimensões, impossíveis de acomodar dentro do espaço disponível na tubovia ou na ponte de tubulações, como já vimos no Item 10.2(4) e Fig. 10.4.

Por exemplo, o ponto extremo de um tubo de aço com 200 m de comprimento teria uma dilatação de cerca de 300 mm, para uma diferença de temperatura de apenas 150°C; com um movimento de dilatação dessa ordem dificilmente o tubo deixaria de se encostar em algum obstáculo ou tubo vizinho. Deve ser observado também que os trechos de grande comprimento, devido ao seu peso e ao atrito nos suportes, tendem a flambar lateralmente quando se dilatam. Na prática, aconselha-se fazer a subdivisão de trechos de forma que não se tenha movimentos de dilatação superiores a 100 mm.

b) Tubulações com juntas de expansão — Em tubulações com juntas de expansão, cada junta deve ficar sempre entre duas ancoragens ou fixações equivalentes (ancoragens A-2, da Fig. 11.16), para poderem funcionar corretamente. Como já vimos no Item 6.2, com exceção das juntas articuladas, nunca se deve colocar mais de uma junta de expansão entre dois pontos de ancoragem.

c) Limites de áreas — Devem ser colocadas ancoragens em todas as tubulações nos limites de áreas de processamento, para evitar a transmissão de movimentos e esforços de fora para dentro da área, e vice-versa (ancoragens A-3, da Fig. 11.16). Pela mesma razão, devem também ser colocadas ancoragens em todos os pontos em que uma tubulação atravesse o limite de uma propriedade.

d) Subdivisão de sistemas complexos — Em sistemas com traçado muito complexo, ou com numerosos ramais e

pontos de fixação, pode ser necessária a subdivisão em trechos independentes por meio de ancoragem, para facilitar o cálculo de flexibilidade (ancoragem A-4, da Fig. 11.16).

e) Estações de válvulas de controle — É usual colocar-se uma ancoragem em um dos lados das estações de válvulas de controle, para evitar movimentos nessas válvulas (ancoragem A-5, da Fig. 11.16).

f) Tubulações de ponta e bolsa — Nas tubulações com ligações de ponta e bolsa ou com ligações patenteadas tipos "Dresser", "Victaulic", "Gibault" etc., as ancoragens são empregadas com a finalidade de evitar que as ligações se desengatem por efeito de pressão interna do fluido ou dos golpes de aríete. Nessas tubulações, tanto subterrâneas como não-subterrâneas, a não ser que a pressão interna seja nula ou muito baixa, devem ser colocadas obrigatoriamente ancoragens em todos os pontos de derivação e de mudança de direção, e também de espaço em espaço ao longo dos trechos retos, como mostra a Fig. 10.34.

g) Isolar vibrações — Nas tubulações sujeitas a vibrações de grande freqüência e pequena amplitude, as ancoragens podem ser empregadas com a finalidade de impedir a propagação das vibrações.

h) Válvulas de segurança — Algumas vezes é necessário colocar uma ancoragem atrás de uma válvula de segurança, para absorver a reação de abertura da válvula, principalmente para altas pressões e grandes vazões.

Observações: 1. *Ancoragens próximas a bocais* — Não se deve nunca colocar ancoragens próximas a bocais de vasos ou de equipamentos. Ainda que o trecho entre o bocal e a ancoragem não seja retilíneo, a sua dilatação pode facilmente criar tensões perigosas no bocal. Convém observar que na ligação de um tubo com um vaso ou um equipamento, o que funciona propriamente como ponto de ancoragem não é o bocal de ligação, mas sim o ponto de fixação do vaso ou do equipamento na sua base. Esse ponto às vezes está relativamente afastado do bocal de ligação, e essa distância, que influirá na dilatação própria do equipamento, deve ser levada em consideração no cálculo de flexibilidade da tubulação.

2. As travessias de tubos em diques de terra não constituem pontos de ancoragem, porque os tubos podem sempre se movimentar livremente através do dique (veja Item 12.5).

2. Guias — São os seguintes os principais casos de emprego de guias:

a) Trechos retos longos — Em todos os trechos retos longos, principalmente quando de tubos de pequeno diâmetro, deve haver guias a cada 3 ou 4 suportes, para manter o alinhamento dos tubos e evitar vibrações (guia G-1, da Fig. 11.16). Deve haver também uma guia nas extremidades livres de tubulações, fechadas com flanges cegos, tampões etc.

b) Proteção de equipamentos e outros pontos fracos, e orientação de dilatações — No sistema exemplificado na Fig. 11.16, a guia G-2 tem a finalidade de fazer com que a dilatação do trecho norte-sul da tubulação de recalque da bomba se dê exclusivamente para a direção norte, diminuindo assim os esforços sobre a bomba; é fácil verificar, pelo exame da figura, que, se não existisse a guia G-2, a dilatação da tubulação se daria nos dois sentidos. As guias G-3 têm por finalidade obrigar as curvas de expansão a se deformarem, evitando flambagens laterais nos trechos retos.

c) Tubulações com juntas de expansão — Todas as tubulações com juntas de expansão devem ter guias, ou dispositivos de fixação equivalentes (guias G-4 da Fig. 11.16), para evitar movimentos de torção e movimentos laterais, no caso de juntas que só admitam movimentos axiais. A localização das guias e seu espaçamento dependem do diâmetro do tubo e do tipo da junta de expansão; em cada caso, o fabricante da junta deve ser consultado sobre esse assunto para que se possam obter as indicações corretas. De um modo geral, o espaçamento entre as guias costuma ser de 1,5 a 3 vezes o vão entre os suportes, devendo a distância entre a junta de expansão e a primeira guia ser de aproximadamente 5 diâmetros do tubo. As tubulações com juntas de expansão devem ser suportadas de forma que nenhum peso fique atuando nas juntas, principalmente quando se tratar de tubulações pesadas.

d) Tubulações verticais — Devem ser colocadas guias em tubos verticais (guias G-5, da Fig. 11.16), para diminuir a tendência natural a vibrações.

e) Estações de válvulas de controle — É usual também colocar guias nas estações de válvulas de controle (guia G-6, da Fig. 11.16), no lado oposto à ancoragem, para proteção da válvula de controle.

Observação: As guias não devem, em princípio, ser colocadas próximo de qualquer ponto de mudança de direção dos tubos. Suponhamos, por exemplo, que existisse uma guia próxima ao ponto *B*, na configuração mostrada na Fig. 11.17. Como a guia impede os movimentos laterais do tubo, passaria a funcionar, em relação ao trecho *AB*, como se fosse um ponto de ancoragem, opondo-se à dilatação de trecho *AB* e à flexão do trecho *BC*. Essa guia causaria então uma tensão excessiva no trecho *BD* e flambagem lateral no trecho *AB*.

A guia deveria estar colocada no ponto *E*, de forma que o trecho *BE* tenha um comprimento suficiente para fletir sob a ação da dilatação de *AB*, sem causar tensões excessivas.

3. Batentes — O caso típico de emprego dos batentes é a proteção de pontos fracos e de equipamentos e orientação de dilatações, como o exemplificado em B-1, na Fig. 11.16, cuja função é evitar movimentos na direção norte da tubulação de sucção da bomba.

Os batentes também são empregados — de preferência às ancoragens — para absorver o empuxo de reação de abertura de válvulas de segurança.

11.13 Suportes para Tubulações Sujeitas a Vibrações

As tubulações sujeitas a vibrações fortes (como, por exemplo, as tubulações na saída de compressores e de bom-

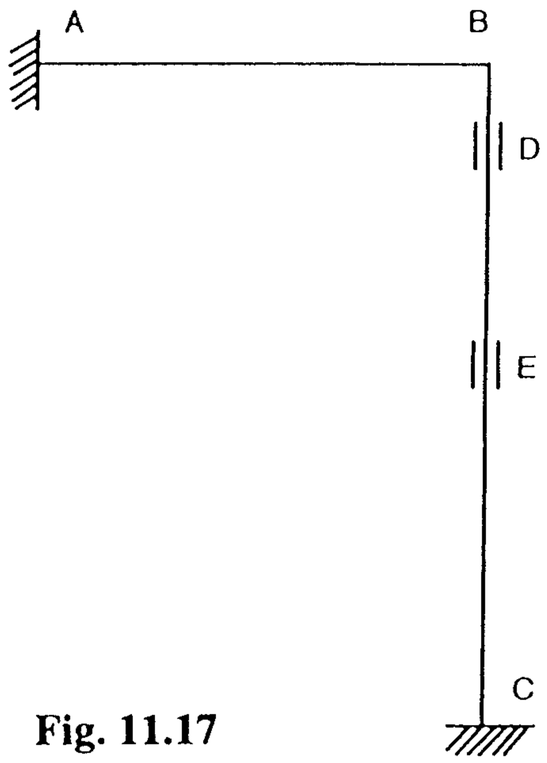


Fig. 11.17

bas alternativas) devem ter suportes e fixações independentes, para que suas vibrações não se transmitam a estruturas, a equipamentos ou a outras tubulações.

Para vibrações de grande amplitude, são freqüentemente necessários dispositivos especiais para absorver essas vibrações, tais como amortecedores, suportes de mola ou mesmo juntas de expansão. Os amortecedores usados para essa finalidade são geralmente iguais aos amortecedores hidráulicos fabricados para veículos rodoviários e ferroviários. O tubo sujeito a vibrações é conectado ao amortecedor por meio de um tirante regulável e o amortecedor é rigidamente preso a uma estrutura fixa.

Para vibrações de alta freqüência e pequena amplitude, a solução é, geralmente, a fixação rígida dos tubos por meio de ancoragens em vários pontos.

11.14 Estudo Global do Conjunto de Suportes

Em sistemas complexos de equipamentos e tubulações, principalmente quando existirem muitos elementos superpostos, ou em várias elevações, e /ou grandes diferenciais de temperatura, é geralmente necessário fazer-se um estudo global do sistema para a definição do tipo e localização dos suportes de tubulação. Esse trabalho consiste no estudo e desenho da configuração geométrica não-dilatada e dilatada, de todo o sistema composto pelos equipamentos e tubulações, visando:

— Verificar onde seja necessário colocar suportes móveis, isto é, onde o movimento vertical da tubulação não puder ser absorvido pela flexão natural do tubo entre dois suportes consecutivos.
— Verificar onde seja necessário colocar dispositivos de restrição de movimentos.

Como já foi observado, tanto os suportes móveis como os dispositivos de restrição devem ser empregados no menor número possível, e somente onde e quando forem de fato indispensáveis. Por esse motivo, depois de estudada a localização de todos os suportes, sugere-se que seja verificada a conseqüência da supressão de cada um dos dispositivos de restrição, para a certeza de sua necessidade.

Repetindo o que já foi visto, a localização geral dos suportes é baseada nos seguintes princípios básicos:

— Nenhum trecho de tubulação pode ter qualquer vão entre suportes consecutivos maior do que o seu vão admissível.
— O número total de suportes deve ser o menor possível.
— As tubulações devem ter completa liberdade de se movimentar sobre os suportes, restringindo-se essa liberdade somente onde for indispensável.

Essa localização deve ainda atender, quando necessário, aos seguintes requisitos adicionais:

a) É recomendável que para tubos pesados sejam colocados, quando possível, suportes nas curvas situadas no plano horizontal, para evitar que o peso de curva não suportada introduza esforços de torção na tubulação.

b) Deve-se sempre procurar localizar suportes próximos às cargas concentradas importantes, tais como válvulas e derivações pesadas etc. Quando isso não for possível, deve ser estudado o efeito dessas cargas concentradas no trecho de tubo em questão. As peças pesadas ligadas à tubulação podem ter suportes diretamente embaixo delas, mas sempre deve ser feito um estudo do possível efeito de concentração de esforços nesses equipamentos, principalmente tratando-se de peças de ferro fundido.

c) No caso de tubulações conectadas a algum equipamento que possa ser removido para manutenção, recomenda-se posicionar os suportes de forma que a tubulação continue devidamente suportada estando o equipamento removido, de forma a evitar, ou minimizar, a necessidade de escoramentos provisórios para a desmontagem do equipamento.

11.15 Projeto e Construção dos Suportes de Tubulação

Quase todos os dispositivos de suporte e de restrição de movimentos das tubulações industriais costumam ser peças ou estruturas feitas no local da obra durante a montagem.

Teoricamente, cada suporte em particular deverá resistir a uma combinação diferente de cargas, que será função do número e diâmetro dos tubos suportados, do tipo do suporte, do traçado das tubulações etc. Na prática, será evidentemente impossível fazer-se o cálculo e o projeto de cada suporte individualmente; escolhe-se então e projeta-se um determinado número de modelos de cada tipo de suporte, que serão considerados padronizados para uso em toda obra. O projeto geral será então feito de forma que possam ser empregados esses suportes padronizados no maior número possível de casos.

Projetam-se, por exemplo, suportes simples (dormentes) para várias combinações de cargas e de comprimento do suporte:

2 m de comprimento, para 15 KN/m (≅ 1.500 kg/m)
3 m de comprimento, para 18 KN/m (≅ 1.800 kg/m)
4 m de comprimento, para 23 KN/m (≅ 2.300 kg/m)
etc.

Da mesma forma, projeta-se um tipo de guia para tubos até 4″, outro tipo para tubos de 6″ a 12″, assim por diante para todos os outros tipos de suportes e de dispositivos de limitação de movimentos. A maior despesa que se terá de material será largamente compensada pela simplificação de projeto e de fabricação das peças. Cada tipo padronizado receberá uma sigla indicativa que aparecerá em todas as plantas de tubulação, como veremos no Item 13.4. Por exemplo: os suportes simples serão denominados S-1, S-2, S-3 etc.; as ancoragens A-1, A-2, A-3 etc., e assim por diante. Muitas firmas de projeto, bem como alguns grandes usuários de tubulações, têm coleções de desenhos de muitos tipos de suportes de tubulação, já calculados e projetados, e válidos para qualquer projeto futuro.

O projeto em si, dos suportes, consistirá no seu dimensionamento pelas fórmulas da Resistência dos Materiais, em função do tipo de suporte e das cargas que estejam atuando. Embora o projeto dos suportes seja sempre parte integrante do projeto de tubulações, não vamos entrar aqui em maiores detalhes sobre esse assunto.

No projeto de todos os tipos de suportes e de dispositivos de restrição, deve ser adotado um amplo coeficiente de segurança (geralmente o valor 4, no mínimo, em relação ao limite de resistência do material), pelas seguintes razões.

— Dar ao suporte, ou ponto de restrição de movimentos, bastante rigidez, de modo que não apresentem flechas ou deformações sensíveis, uma vez que a tubulação será calculada supondo que todos esses dispositivos sejam indeformáveis.
— Permitir que se possa adotar um menor número de dispositivos padronizados, abrangendo cada um maior faixa de variação de cargas.
— Permitir que possam ser feitas futuras ampliações na instalação sem necessidade de modificações ou reforços nos suportes.
— Dar uma boa margem de espessura para corrosão, porque esses dispositivos, na maioria dos casos, ficam em locais de difícil acesso para uma pintura e manutenção bem-feita, e estão assim freqüentemente sujeitos a intensa corrosão. Por esse motivo, não se devem adotar chapas, barras e perfis de aço com espessura inferior a 6 mm.

De acordo com a norma MSS-SP.58 (da "Manufacturers Standard Society"), a tensão admissível, até 350°C, para o aço-carbono estrutural para suportes é de 85 MPa (≅ 850 kg/cm²). A norma ASME B. 31 (Seções 1 e 3) prescreve a tensão admissível para o aço-carbono estrutural, em temperaturas até 345°C, como sendo o limite de resistência dividido por quatro, permitindo, entretanto, que no teste hidrostático a tensão nos suportes possa atingir até 80% do limite elástico do material.

Os suportes de tubulação e suas estruturas podem ser metálicos, de concreto armado fundido no local, de concreto armado pré-moldado ou de sistemas mistos. A decisão entre esses sistemas construtivos é principalmente econômica, e portanto variável no tempo e de um lugar para outro. Contudo, é válido fazer-se a seguinte comparação: as estruturas de concreto armado apresentam como vantagens a facilidade de execução, a excelente resistência ao fogo — resistindo bem mesmo a incêndios violentos e demorados — e a dispensa de pintura e muito pouca necessidade de qualquer manutenção. Para as estruturas metálicas, as vantagens são a leveza e esbeltez das peças e, principalmente, a grande facilidade de realização de qualquer modificação futura que seja necessária (reforçamento, ampliação etc.) e também o valioso material que resulta da sua demolição. Em compensação, as estruturas metálicas exigem pintura e constante manutenção, e não são à prova de fogo. Por esse motivo, os suportes metálicos (pelo menos as colunas dos pórticos e outras peças importantes), costumam receber um revestimento de concreto magro de proteção contra fogo (fire-proofing), para evitar a incidência direta de chamas no caso de um incêndio. Essa precaução deve ser obrigatoriamente tomada mesmo onde for remoto o risco de incêndio, porque a incidência direta de fogo, ainda que por pouco tempo, enfraquece rapidamente a peça metálica, provocando a flambagem das colunas e, em seguida, o desabamento de toda a estrutura, com conseqüências sempre muito graves.

Em estruturas de concreto, as modificações, ampliações e reforçamentos são de execução muito difícil e freqüentemente inviável, devendo-se por isso projetá-las e construí-las com ampla folga de resistência, para o possível acréscimo futuro de novas cargas. A demolição de estruturas de concreto é também cara e difícil, e só resulta em um entulho inútil e de dispendiosa remoção.

Quando se empregam estruturas de concreto ou estruturas de aço com revestimento de concreto, deve-se tomar cuidado para evitar o contato direto das tubulações quentes que causaria o fendilhamento do concreto. Entre os tubos quentes e o concreto deve haver patins de aço de dimensões suficientes para dissipar eficientemente o calor.

Para peças sujeitas principalmente à compressão, tais como berços e suportes de rolos, pode-se admitir o uso de ferro fundido, existindo no comércio diversos modelos de peças desse material. Pela norma MSS-SP.58, o ferro fundido e o ferro maleável só podem ser empregados para temperaturas até 200°C.

No projeto de todos esses dispositivos é preciso sempre levar em consideração o problema da concentração de esforços, porque em todos os pontos de suportes ou de limitação de movimentos, atuam sobre o tubo forças provenientes dos pesos ou das reações que se opõem aos movi-

mentos dos tubos. Essas forças, que atingem às vezes valores bastante elevados, devem ter uma área de distribuição adequada para não causarem concentrações de esforços capazes de deformar as paredes do tubo, ou até de produzir o colapso do mesmo. As forças serão tanto maiores quanto mais pesadas ou mais quentes forem as tubulações; para essas últimas, deve ser considerada ainda a diminuição da resistência do material com a temperatura.

Para todos os elementos metálicos soldados diretamente às paredes do tubo, devem-se evitar concentrações de soldas, principalmente de cordões espessos, porque podem causar também tensões residuais elevadas no material. Como regra geral, recomenda-se que a solda de qualquer elemento na parede da tubulação (patins, reforços, chapas-calhas, berços etc.) tenha sempre um cordão contínuo de solda em toda a volta, para evitar a penetração de água ou de umidade, e a conseqüente corrosão. Tratando-se de tubulações quentes, deve ser lembrado, entretanto, o problema da dilatação diferencial entre o tubo e o elemento soldado (mais frio), que pode dar origem a elevadas tensões. Por esse motivo, recomenda-se evitar ao máximo as peças soldadas na parede de tubos com temperatura de projeto superior a 400°C, sendo preferíveis nesse caso os patins, berços etc., presos por braçadeiras aparafusadas ou outros recursos que dispensem a solda (veja Fig. 11.5(*g*)). Devem também ser evitados os elementos soldados em tubos de aços-liga ou outros materiais cuja soldagem exija tratamento térmicos, para que não haja necessidade desses tratamentos que são caros e de difícil execução no local da obra. Em qualquer caso, todas as peças soldadas diretamente à parede dos tubos devem ser obrigatoriamente do mesmo material da tubulação, ou de material de mesmo "Número P" (veja Item 15.3), evitando-se as soldas dissimilares. Por esse motivo, tratando-se de tubulações de qualquer material diferente do aço-carbono, recomenda-se evitar peças soldadas, adotando-se também patins, berços, ancoragens etc., presos à tubulação por braçadeiras aparafusadas. No caso dos berços para tubulações de grande diâmetro, basta que a chapa-calha do berço seja do mesmo material dos tubos (veja Fig. 11.5(*b*)), podendo o restante da estrutura do berço ser de aço-carbono, porque as soldas dissimilares não ficarão na parede da tubulação.

Para o suporte de um único tubo ou mesmo para um grupo de tubos paralelos que não seja muito pesado deve-se, por motivo de economia, fazer tanto quanto possível o aproveitamento de prédios, vasos e outras estruturas existentes, ainda que isso obrigue a um trajeto maior para a tubulação. No aproveitamento de qualquer estrutura existente deve ser sempre observado o seguinte:

1. Verificar se os esforços atuantes estão compatíveis com a estrutura em questão.
2. Descarregar os pesos nos blocos de fundação, nas colunas, ou nas vigas próximo às colunas, para diminuir os momentos fletores e de torção.
3. Evitar torções e flexões laterais nas vigas. Evitar também flexões ou compressões em peças finas ou de contravento.
4. Evitar, tanto quanto possível, a transmissão de vibrações e de calor à estrutura.

Qualquer que seja a estrutura empregada para a sustentação de tubulações, é muito importante que a estrutura tenha rigidez e imobilidade suficiente para não apresentar flechas sensíveis, por efeito dos esforços transmitidos pelos tubos. Se houver uma flecha sensível em qualquer suporte, o tubo acompanhará o movimento, o que poderá causar vazamentos em flanges, roscas etc., e principalmente ocasionar tensões não admissíveis no próprio tubo, que foi calculado supondo todos os suportes absolutamente imóveis, como está explicado no Cap. 5 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo".

O cálculo e o dimensionamento das estruturas e fundações de sustentação de tubulações foge do âmbito deste livro. Entretanto, qualquer projeto de tubulações não estará completo sem o cálculo de todas as cargas e reações exercidas pelas tubulações sobre todos os suportes e pontos de fixação, isto é, o cálculo de todos os esforços a que as estruturas e fundações terão de resistir. Esses cálculos estão nos Caps. de 5 a 8 do livro acima citado.

12

SISTEMAS ESPECIAIS DE TUBULAÇÃO

12.1 SISTEMAS ESPECIAIS DE TUBULAÇÃO

Existem alguns sistemas especiais de tubulação, muito freqüentemente encontrados na prática, que merecem algumas considerações adicionais, no que se refere ao traçado e detalhamento. Para esses sistemas, entretanto, continuam valendo todas as normas e recomendações vistas nos capítulos anteriores.

12.2 TUBULAÇÕES PARA BOMBAS

Nas tubulações de sucção de bombas, sempre que possível, devem ser evitados os pontos altos. Essa regra é importante principalmente nas tubulações em que a pressão seja inferior à atmosférica, ou em que a temperatura do líquido esteja próxima à ebulição, porque nos pontos altos podem se formar bolsas de gás que perturbam gravemente o funcionamento da bomba. Nos demais casos, essa regra não é tão importante, embora seja sempre recomendável.

Em qualquer caso, as tubulações de sucção devem ter sempre a menor perda de carga possível, isto é, o menor trajeto com o menor número de acidentes. Essa observação é particularmente importante quando o vácuo na sucção é forte ou quando se trata de líquidos viscosos, voláteis, ou em temperatura elevada. Para diminuir as perdas de carga, as tubulações de sucção têm muitas vezes um diâmetro superior ao bocal de entrada das bombas.

Em uma tubulação de sucção, se possível, não se deve ter uma curva diretamente ligada ao bocal da bomba, para diminuir os efeitos de turbilhonamento no interior da bomba. Como já vimos no Item 10.9, as reduções junto às bombas devem ser excêntricas, niveladas por cima. Como também já foi observado no Item 7.8, devem ser sempre colocados filtros provisórios na entrada das bombas, por ocasião da montagem ou de alguma obra de vulto, a menos que exista um filtro permanente na tubulação de sucção.

Para as bombas que tenham dois bocais de sucção (sucção dupla), recomenda-se que os dois ramais da tubulação de sucção sejam exatamente iguais, com o mesmo traçado e detalhamento, com igual perda de carga, para evitar o fluxo preferencial por um dos lados da bomba.

Na Fig. 12.1 estão mostradas as diversas recomendações acima, sobre tubulações de sucção de bombas. É importante lembrar que a experiência tem mostrado que a grande maioria dos defeitos de funcionamento de uma bomba estão relacionados com problemas na sua tubulação de sucção.

Para as tubulações de recalque das bombas a influência da geometria da tubulação no funcionamento da bomba é muito menos sensível do que para as tubulações de sucção. Convém entretanto, quando possível, evitar os pontos altos, principalmente quando a diferença de elevações for muito grande.

São as seguintes as recomendações para a colocação de válvulas junto às bombas:

— Bombas com sucção afogada ou bombas em paralelo succionando de uma mesma linha-tronco: Colocação obrigatória de uma válvula de bloqueio junto ao bocal de entrada da bomba. Chama-se "sucção afogada" quando o reservatório de onde a bomba está succionando está situado em cota de nível superior à bomba. Bombas em paralelo significa duas ou mais bombas succionando e/ou recalcando das mesmas linhas-tronco, para funcionamento simultâneo ou não, como é o caso de bombas de reserva para funcionamento eventual.

— Bombas com sucção não afogada e não em paralelo com outras bombas: Não se recomenda colocar válvula de bloqueio no bocal de entrada porque essas válvulas além de inúteis seriam prejudiciais, em virtude de poderem causar entrada falsa de ar.

— Bombas com sucção não afogada (reservatório de sucção em cota de nível inferior à bomba): Coloca-

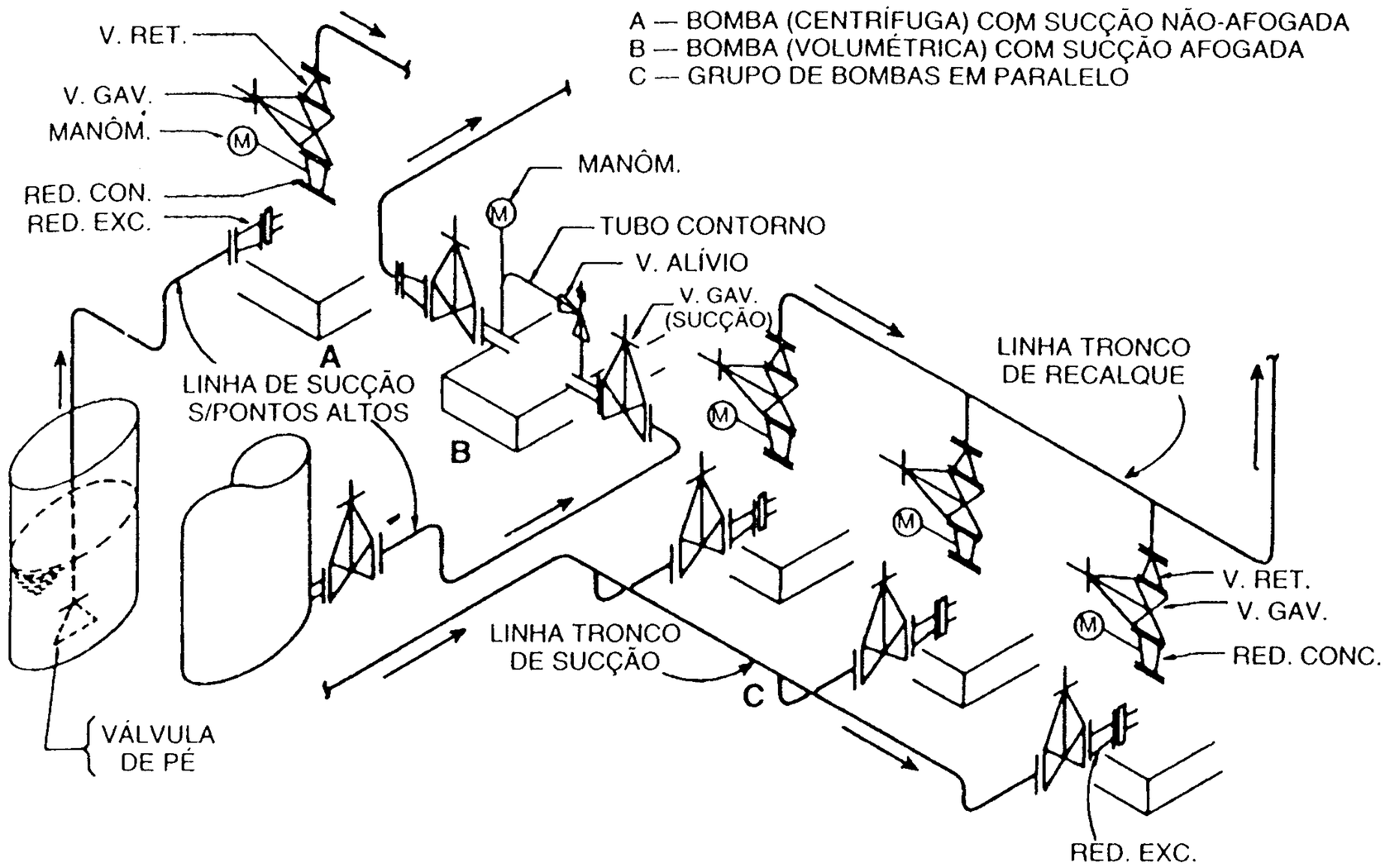


Fig. 12.1 Tubulações de sucção e recalque de bombas.

ção obrigatória de uma válvula de retenção (válvula de pé), na extremidade livre da linha de sucção, suficientemente mergulhada dentro do líquido, para manter a escorva da bomba. Essa válvula é freqüentemente associada a uma grade, para evitar a entrada de corpos estranhos na bomba. (veja Fig. 4.20).

— Tubulações de recalque (em qualquer caso): Colocação obrigatória de uma válvula de bloqueio junto ao bocal de saída da bomba.

— Bombas com recalque para um nível estático mais elevado, ou bombas em paralelo recalcando para uma mesma linha tronco: Colocação obrigatória de uma válvula de retenção junto ao bocal de saída da bomba (além da válvula de bloqueio acima referida), como já vimos no Item 4.8.

Muitos usuários e projetistas preferem colocar a válvula de bloqueio depois da válvula de retenção (no sentido de fluxo), para permitir mais facilmente a manutenção dessa última.

Quando houver uma redução na entrada da bomba, recomenda-se que seja colocada diretamente no bocal da bomba, e que a válvula de bloqueio (se existe) seja do diâmetro da tubulação, isto é, do diâmetro maior da redução. Na saída da bomba, caso haja uma redução, as válvulas poderão, por motivo de economia, ser do diâmetro menor, isto é, colocadas antes da redução, quando o valor da perda de carga admissível permitir essa disposição.

Devem sempre ser colocados manômetros nas tubulações de recalque das bombas, se possível antes da válvula de bloqueio.

As bombas de êmbolo, de engrenagens e demais bombas volumétricas necessitam obrigatoriamente de uma tubulação de contorno (by-pass), ligando a sucção ao recalque, e contendo uma válvula de alívio. Essa válvula deve ter a pressão de abertura um pouco acima da máxima pressão de operação do sistema, e destina-se a proteger a tubulação e a própria bomba, contra elevadas sobrepressões que podem surgir por efeito da compressão do líquido, caso haja alguma obstrução na linha de recalque ou o fechamento inadvertido de uma válvula. Em bombas pequenas muitas vezes essa válvula de alívio e a tubulação de contorno fazem parte integrante da própria bomba, dispensando, assim, a instalação externa desses acessórios. Para as bombas centrífugas, raramente é necessária a instalação da válvula de alívio e tubulação de contorno, porque, mesmo com a tubulação de recalque completamente fechada (vazão nula), a pressão gerada pela bomba (pressão de shut-off) é em geral pouco superior à pressão normal de trabalho.

A Fig. 12.1 mostra também essas outras recomendações sobre tubulações ligadas a bombas.

As bombas que trabalham com líquidos em temperatura superior a 200°C e que permaneçam paradas por longo tempo (bombas de reserva, por exemplo), devem ter um sistema que permita manter uma pequena vazão do líquido permanentemente circulando na bomba, que ficará assim sempre aquecida. Isso pode ser conseguido por meio de uma tubulação auxiliar de pequeno diâmetro (1", em geral), com válvulas de bloqueio, interligando as diversas bombas e contornando as válvulas de bloqueio e de retenção de cada bomba.

Repetindo o que já foi dito no Item 10.7.1, é importante que as tubulações ligadas às bombas sejam suportadas de tal forma que o seu peso não fique sobre a bomba, permitindo, sempre que possível, que a bomba seja desmontada, ou removida, sem ser necessário escorar as tubulações. Em áreas de processo, com as tubulações sobre suportes elevados — como é a prática usual —, os ramais de sucção e de recalque das bombas costumam ser tubos verticais com suportes tipo pedestal (veja Fig. 11.1(*f*)), colocados no joelhos próximos aos bocais da bomba.

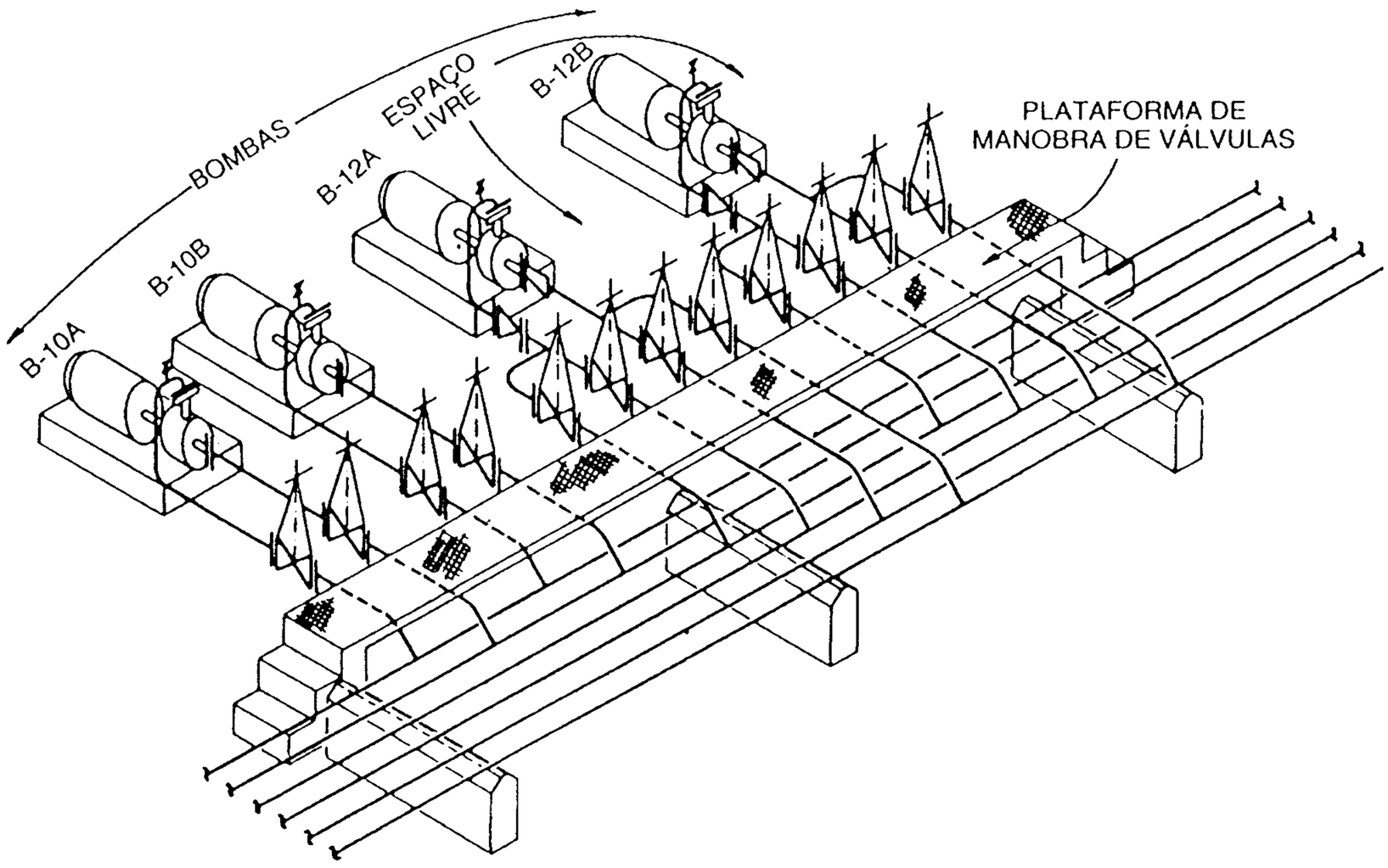


Fig. 12.2 Tubulações para um grupo de bombas.

12.3 Tubulações para um Grupo de Bombas

Já vimos nos Capítulos 9 e 10 que é prática usual em instalações industriais a colocação de várias bombas próximas entre si, formando um ou mais grupos. Tratando-se de um grupo numeroso de bombas, ligadas a muitas linhas de sucção e de recalque, o arranjo de tubulações deve ser estudado com cuidado, para atender à economia e às facilidades de operação e manutenção, dando ao mesmo tempo um aspecto de ordem a todo o conjunto.

A Fig. 12.2 mostra um arranjo típico para um grupo de bombas, podendo-se notar as áreas livres para operação e manutenção em volta das bombas, e o acesso para a manobra das válvulas. Note-se também que as bombas B-12A e B-12B têm mais de uma ligação de sucção e de recalque. Essa disposição é comum em bombas destinadas a trabalhar com mais de um líquido, porque nesse caso haverá mistura dos líquidos apenas na bomba e nos pequenos trechos de tubulação da bomba até as válvulas. Quando nenhuma mistura de líquidos puder ser tolerada, deverá haver um sistema de drenagem e de injeção de vapor ou de outro fluido de limpeza nas bombas.

Tratando-se de tubulações a pequena altura (como é o caso do exemplo da Fig. 12.2), é usual a instalação de uma plataforma corrida sobre os tubos, para acesso e manobra de válvulas.

Observe-se que quando se tem um grupo de bombas iguais é usual fazer-se o mesmo arranjo de tubulações para cada uma das bombas, não só com a finalidade de melhorar a aparência, como também para simplificar o projeto e a montagem.

Quando se tem duas ou mais bombas operando em paralelo, é muito importante que os ramais de sucção para cada bomba tenham o mesmo traçado, com igual perda de carga. Se assim não acontecer, haverá mau funcionamento devido ao fluxo preferencial para a bomba cuja linha de sucção tiver menor perda de carga.

12.4 Tubulações para Tanques, Vasos e Outros Reservatórios

De um modo geral, todas as tubulações ligadas a um tanque, um vaso, ou um outro reservatório qualquer, cujo ponto de ligação esteja abaixo do nível do líquido no reservatório, devem ter uma válvula de bloqueio junto ao bocal de ligação. Essa válvula pode ser dispensada caso exista outra válvula de bloqueio próxima, na mesma tubulação. As tubulações cujos pontos de ligação estiverem acima do nível do líquido não costumam ter válvulas junto aos bocais do reservatório.

Independente da posição de entrada no vaso, deve haver sempre válvulas de bloqueio nos bocais das tubulações de vapor de lavagem, ou outras tubulações de serviço eventual. As tubulações ligadas aos respiros e drenos dos vasos também têm sempre evidentemente válvulas de bloqueio junto aos bocais.

Não se devem colocar válvulas de bloqueio, qualquer que seja a posição de entrada no vaso, nos bocais das tubulações de saída de gases no topo, tubulações de refluxos circulantes e tubulações ligadas a válvulas de segurança ou de alívio para proteção do vaso.

As tubulações de entrada de líquidos em qualquer vaso, tanque etc., devem ficar suficientemente afastadas do instrumento de medição ou controle de nível, para diminuir a perturbação causada no instrumento, pelo turbilhonamento de entrada. É conveniente também que a (ou as) tubulação de entrada fique afastada da (ou das) tubulação de saída, para que toda a massa fluida se movimente, evi-

tando o "curto-circuito" dentro do reservatório; em vasos horizontais é usual colocar a entrada e a saída próximas a cada uma das extremidades do vaso, ficando o medidor de nível no centro do vaso.

Em todos os vasos verticais suportados por saias deve-se evitar a colocação de válvulas no interior da saia, porque a operação e manutenção dessas válvulas será sempre difícil.

As tubulações para torres, reatores e outros vasos verticais, devem ter, sempre que possível, somente trechos verticais junto a esses equipamentos, que são facilmente suportados pelo próprio equipamento; é, por isso, prática corrente colocar-se um joelho ou curva imediatamente junto ao bocal do equipamento. Sempre que existam tubulações suportadas pelo próprio vaso, deve-se prestar atenção à possível dilatação diferencial entre o vaso e a tubulação (veja-se, para isso, o exemplo citado no Item 5.11.4, no Cap. 5 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo").

Nas torres, reatores e outros vasos verticais, as cotas de elevação dos bocais de ligação às tubulações são quase sempre estabelecidas pelo projeto de processo de instalação (veja Item 14.1), devendo essas elevações serem obedecidas tanto no projeto dos equipamentos como no projeto de tubulações, para o bom funcionamento do sistema. Em compensação, a orientação em planta desses mesmos bocais é em geral indiferente para o funcionamento e, por isso, não é indicada no projeto de processo, ficando a sua fixação normalmente a critério do projetista de tubulações. Assim, a orientação dos bocais será estabelecida de forma a melhor atender às conveniências do traçado das tubulações externas e ao arranjo de escadas, plataformas e bocas de visita do equipamento, tendo em vista as facilidades de operação e de manutenção. A regra geral, de boa prática, é procurar concentrar todos os bocais do casco do equipamento em um único setor limitado de sua circunferência (45° a 90°, no máximo), liberando desta forma o restante do perímetro para as bocas de visita, plataformas, escadas etc. Essa disposição tem ainda a grande vantagem de facilitar muito o traçado e suporte dos trechos verticais das tubulações externas ao longo do casco do equipamento. A distância angular entre os bocais das tubulações deve ser a mínima possível, para que os espaçamentos entre as tubulações verticais sejam também os menores possíveis (Fig. 12.3).

Quando a quantidade de bocais for muito grande, não permitindo — ou dificultando — a concentração de todos em um único setor, colocam-se os bocais em dois setores restritos da circunferência, de preferência diametralmente opostos. A Fig. 12.3 mostra os setores preferidos para a colocação dos bocais, com relação à localização da faixa de passagem das tubulações (ponte de tubulações ou tubovia).

Para torres, tanques, reatores e outros vasos grandes, recomenda-se deixar uma folga livre mínima de 300 mm, entre a parede do vaso e qualquer tubulação; quando houver isolamento térmico, essa folga deve ser medida por fora do isolamento.

Os trocadores de calor com circulação de água (resfriadores, condensadores etc.) têm em geral válvulas de bloqueio nas tubulações de água, colocadas junto aos bocais de entrada e de saída, quando as condições de espaço permitirem. Nas tubulações do fluido de processo geralmente não se colocam válvulas, exceto quando se deseja permitir isolar completamente o aparelho, como é o caso de dois ou mais trocadores trabalhando em paralelo no mesmo serviço. As linhas de entrada e de saída de água de um trocador de calor costumam ser interligadas por uma tubulação direta, contornando o trocador, na qual se coloca uma válvula de regulagem manual ou automática, para controlar a troca de calor.

Como regra geral, os fluidos que se aquecem devem entrar pela parte inferior do trocador, escoando de baixo para cima, enquanto os fluidos que se resfriam devem entrar pela parte superior, escoando de cima para baixo. Essa regra é importante principalmente para os casos em que há mudança de estado físico de um ou de ambos os fluidos.

Em tudo o que se refere às tubulações de ligação a tanques, vasos, trocadores de calor, e a outros equipamentos de processo em geral, é importante observar que, em

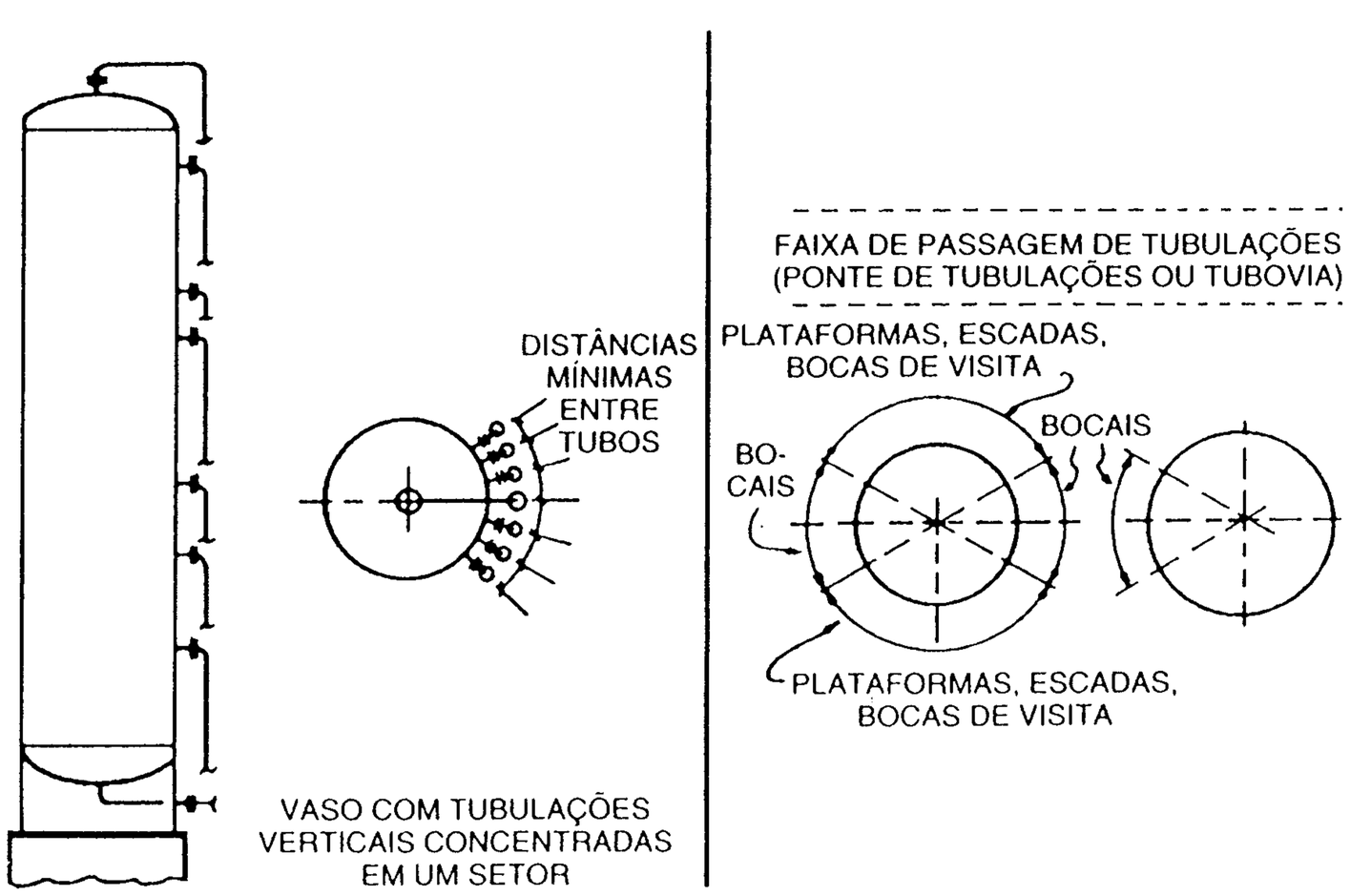


Fig. 12.3 Localização preferível de bocais em vasos verticais.

primeiro lugar, deve ser obedecido o fluxograma, com todas as informações e exigências nele contidas, ainda que contrariem em algum ponto as recomendações que acabamos de ver.

Repetindo o que já vimos no Item 9.3.5, para todos os trocadores com feixe tubular desmontável, deve ser deixado completamente livre, sem nenhuma tubulação ou outro qualquer obstáculo, a área em frente ao carretel, necessária para a desmontagem e remoção de feixe tubular. Deve também ser deixado livre o espaço necessário para a remoção e manobra da tampa do casco (nos aparelhos com tampa removível), bem como uma folga de cerca de 450 mm em toda a volta dos flanges do casco e do carretel, que prendem nos espelhos, nos trocadores com espelhos desmontáveis.

12.5 Tubulações em Áreas de Armazenagem de Líquidos Combustíveis ou Inflamáveis

Os líquidos combustíveis ou inflamáveis são armazenados a granel em tanques circundados obrigatoriamente por diques formando bacias de contenção, cuja finalidade é prevenir que os líquidos se espalhem pelos terrenos vizinhos, se ocorrer alguma falha ou acidente nos tanques. Dependendo do caso, cada bacia de contenção pode conter um ou mais tanques.

Por motivos de segurança, o traçado das tubulações deve ser feito de forma que dentro das bacias haja o mínimo de tubulações, se possível apenas os ramais diretamente ligados aos tanques de cada bacia. Pela mesma razão, não deve haver dentro das bacias válvulas, bombas, filtros, medidores ou outros equipamentos que exijam operação; fazem exceção, evidentemente, as válvulas junto aos bocais dos tanques. A disposição das tubulações no interior das bacias deve ser feita, tanto quanto possível, de modo a não atrapalhar o acesso às escadas e às válvulas dos tanques.

Na maioria das vezes os diques das bacias de contenção são construídos de terra compactada. Nesse caso, a travessia dos diques pelas tubulações não oferece nenhum problema, podendo ser feita diretamente sem nenhuma precaução especial. Mesmo as tubulações com isolamento térmico podem atravessar os diques de terra, desde que o isolamento tenha um envoltório impermeável apropriado de proteção contra a umidade no pequeno trecho enterra-

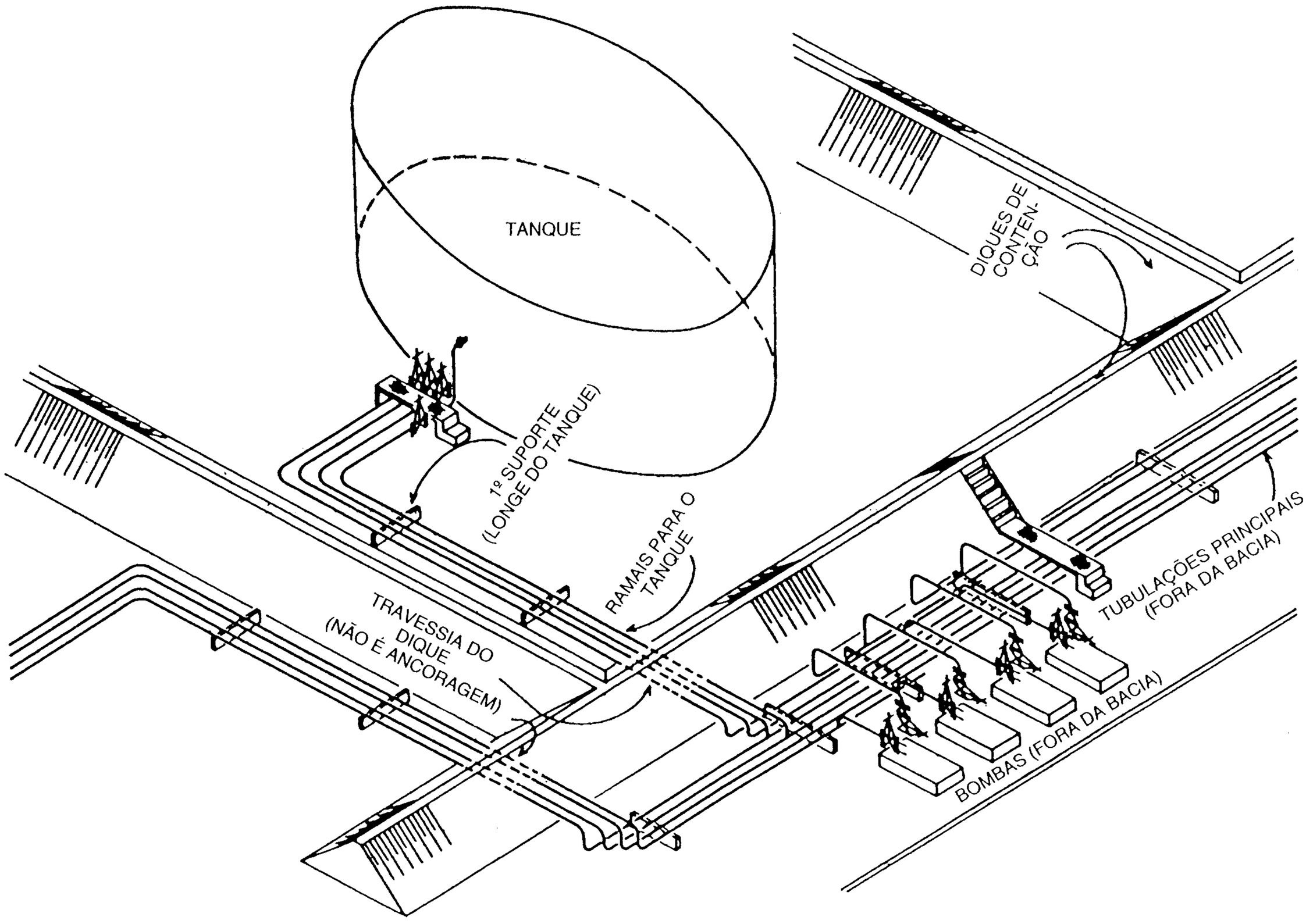


Fig. 12.4 Tubulações em uma área de armazenagem de combustíveis.

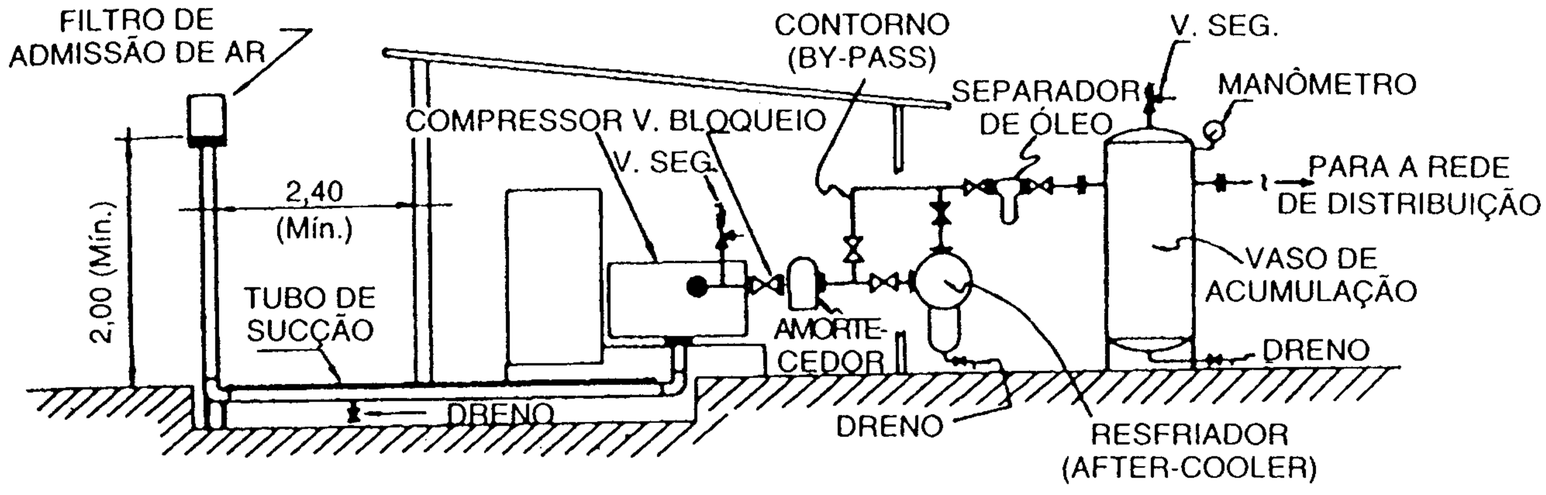


Fig. 12.5 Tubulações para um compressor.

do no dique. Como a travessia de um dique de terra não constitui um ponto de ancoragem, não há necessidade de prever separadamente flexibilidade para os trechos da tubulação de cada lado do dique. Note-se que nenhum dique de terra pode funcionar como ponto de suporte de tubulação, devido ao inevitável recalque que sempre ocorre, agravado do peso extra da terra do próprio dique sobre os tubos. Por esse motivo, a tubulação deve ter suportes relativamente próximos a ambos os lados do dique, ou, de preferência, embaixo do próprio dique. No caso de diques de concreto armado, a travessia do dique é um ponto de suporte dos tubos, que devem entretanto ser firmemente ancorados no dique, nesses pontos de travessia, para que possa ser mantida a estanqueidade. Sendo assim, o traçado das tubulações deve prever suficiente flexibilidade independentemente para cada lado do dique, que deve, por sua vez, ser calculado e construído para resistir a todos os empuxos e esforços das tubulações (veja Item 10.9.18). Sempre que houver travessia de tubulações deve-se evitar diques de alvenaria ou de concreto simples, que não têm condições de resistir aos esforços exercidos pelas tubulações.

Quando os tanques são construídos diretamente pousados sobre o solo, podem ser esperados, em muitos casos, consideráveis movimentos verticais dos tanques por efeito de recalque do terreno. O procedimento preferível, que deve ser adotado sempre que possível, é provocar o recalque acelerado do terreno antes de construir e conectar as tubulações ao tanque; o recalque acelerado pode ser conseguido simplesmente mantendo-se o tanque cheio de água durante um certo tempo (alguns meses, em geral) após o teste hidrostático. Nesse caso, as tubulações serão construídas já com a elevação correta, correspondente à posição dos bocais do tanque depois de estabilizado o recalque do terreno. Quando esse procedimento não for possível — nos casos, por exemplo, em que há urgência em colocar o tanque em serviço —, devem ser adotados recursos especiais para que as tubulações não fiquem submetidas a grandes esforços de flexão conseqüentes do recalque do tanque. Entre os recursos possíveis estão a construção das tubulações com curvas de expansão no plano horizontal, a colocação de suportes especiais com altura regulável ou o emprego de um trecho de mangueiras ou tubos flexíveis.

As tubulações externas às bacias costumam correr sobre o solo ou em trincheiras, como já descrito no Item 10.6.

A Fig. 12.4 mostra um arranjo típico de tubulações em um parque de armazenagem de líquidos inflamáveis.

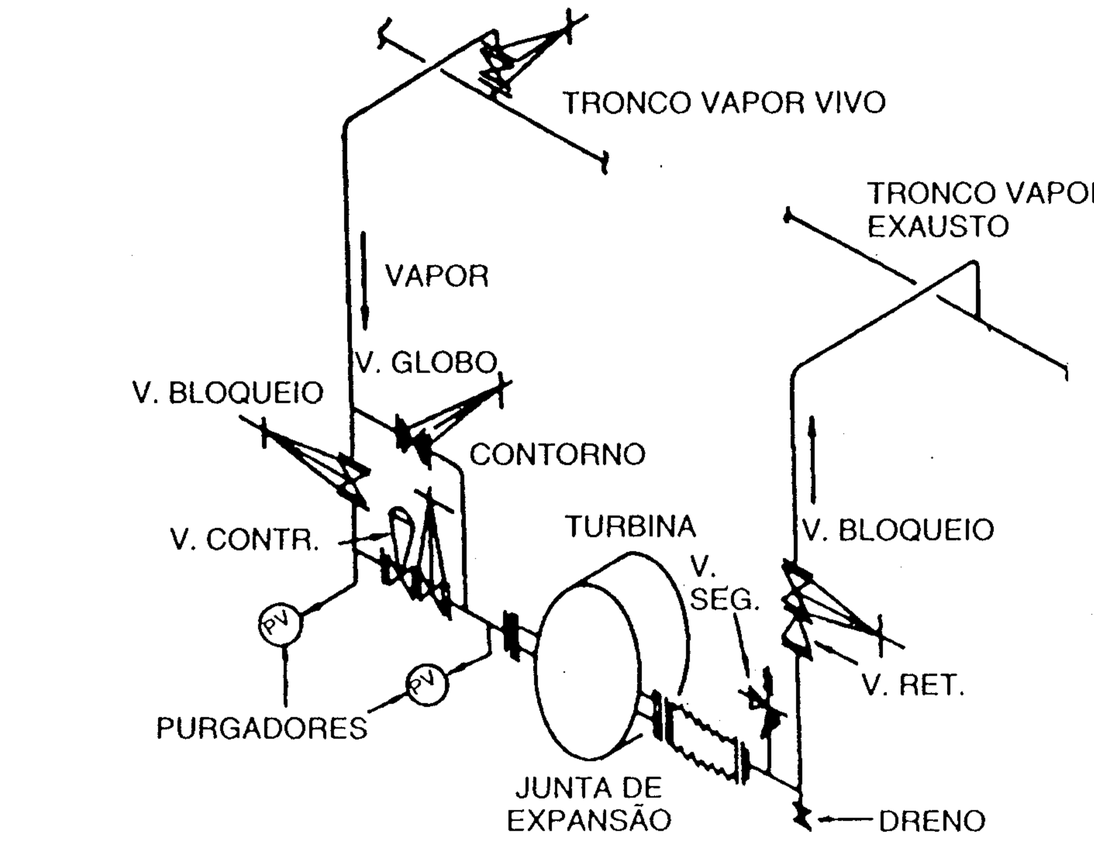


Fig. 12.6 Tubulações para uma turbina.

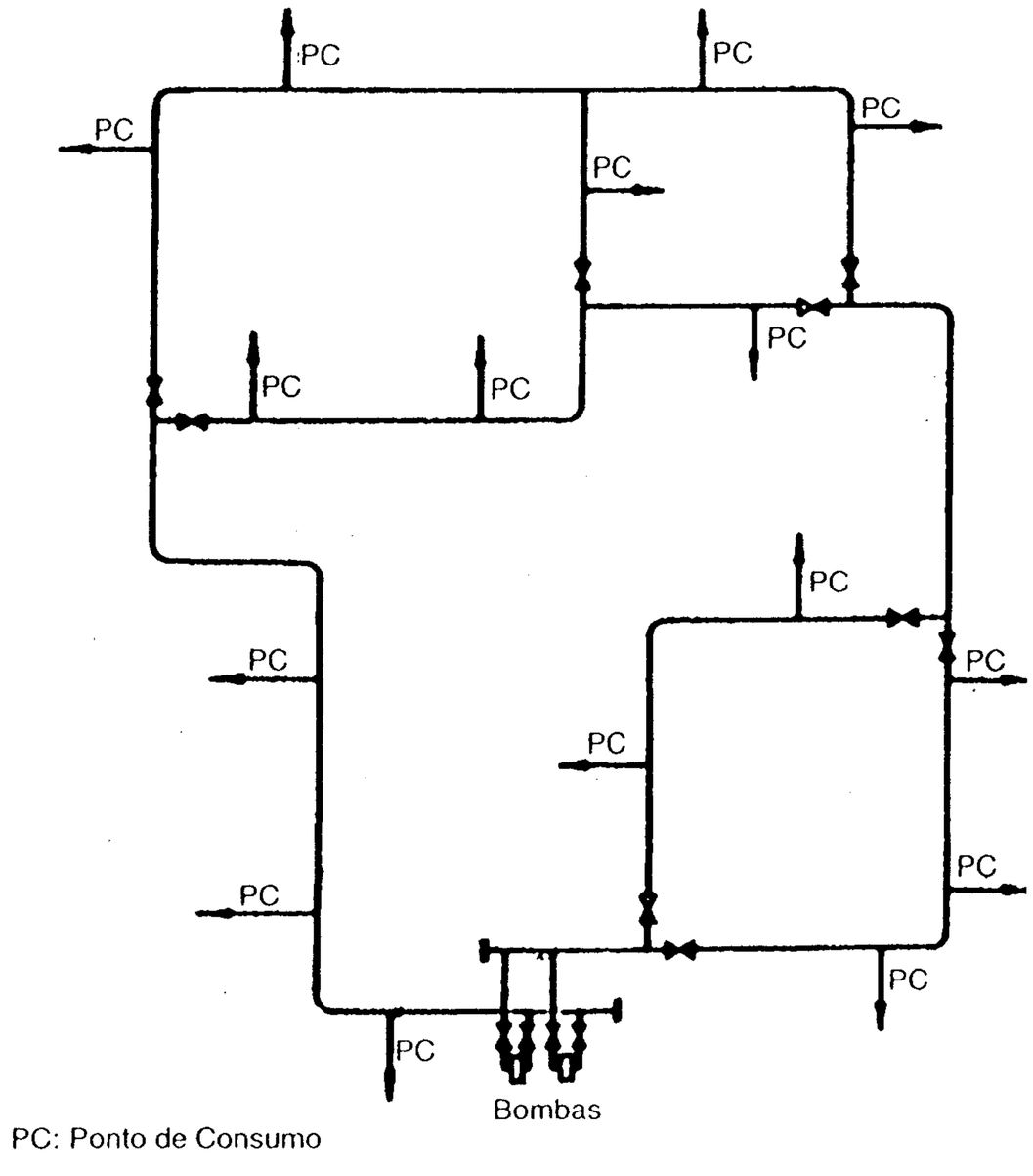


Fig. 12.7 Rede de distribuição em malha.

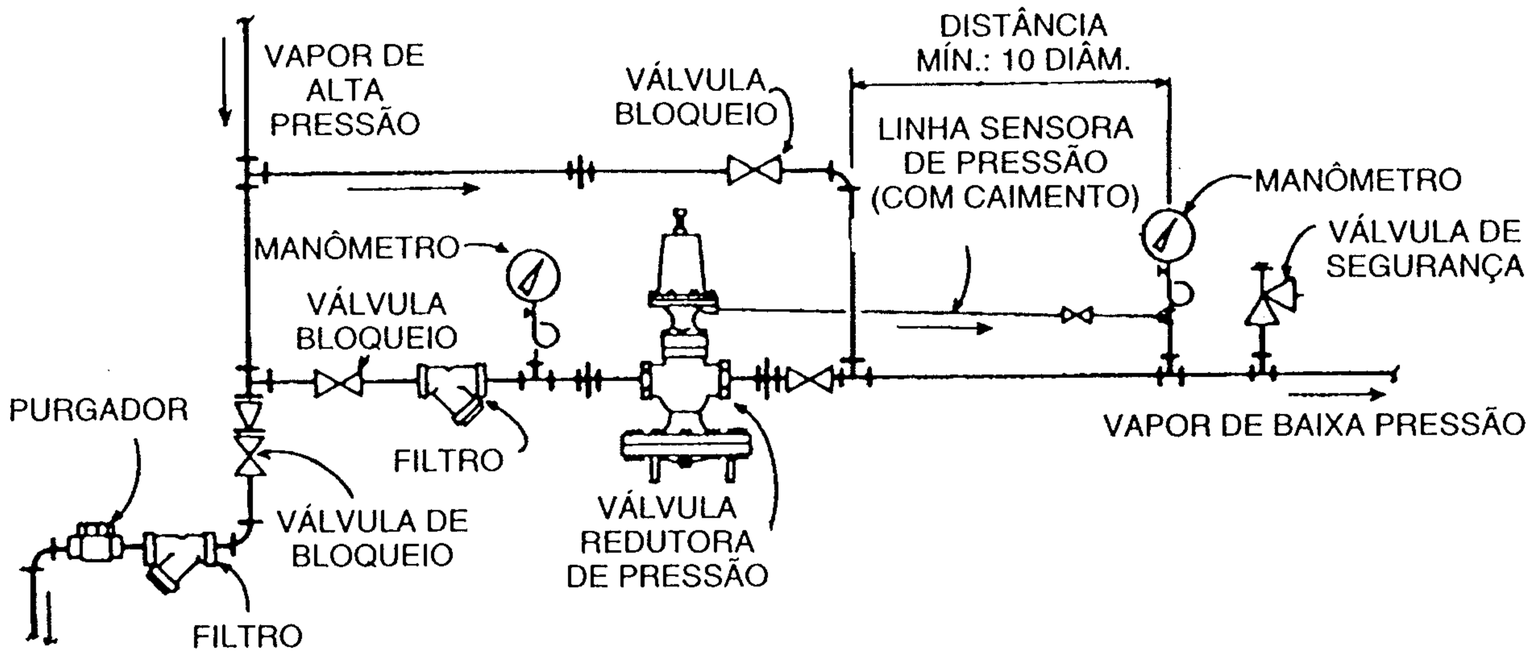


Fig. 12.8 Estação de redução de pressão de vapor.

12.6 Outros Sistemas Especiais

1. *Tubulações para compressores* — A tubulação de sucção de um compressor deve ser o mais curta e com o menor número possível de acidentes, para minimizar as perdas de carga. Essa tubulação deve ser obrigatoriamente drenável, para evitar a entrada de qualquer quantidade de líquido no compressor. Em compressores de ar, é usual a instalação de um ou mais separadores automáticos de água (veja Item 7.7), e em compressores de gás intercala-se na tubulação um vaso para reter e coletar líquidos que possam existir. O traçado da tubulação de sucção deve ser tal que não permita que líquidos, ou umidade, corram para dentro do compressor. O filtro de admissão de ar deve ficar no mínimo 2,0 m acima do solo ou do teto, e também no mínimo a 2,4 m de distância de qualquer parede.

Quando existir amortecedor de pulsação de saída, este deve ficar o mais próximo possível do compressor.

O compressor deve ter uma válvula de bloqueio na tubulação de saída, e uma válvula de segurança, descarregando para fora, antes da válvula de bloqueio. Devem ser colocados separadores de água em todos os pontos baixos das tubulações. Atenção à possibilidade de fortes vibrações nas linhas ligadas a compressores alternativos; se necessário devem ser previstas ancoragens, amortecedores de vibração ou juntas de expansão especiais. Por esse motivo, essas tubulações devem ser suportadas independentemente das outras, devendo também serem evitados os suportes pendurados, e, se possível, os suportes elevados. A Fig. 12.5 mostra uma instalação típica de um compressor.

2. *Tubulações para turbinas* — A tubulação de admissão de vapor para cada turbina deve ter uma válvula de bloqueio, que poderá estar na derivação junto ao tronco de vapor. Na entrada da turbina deve haver uma válvula globo manual ou uma válvula de controle automático, com tubulação de contorno e duplo bloqueio. Deverá ser sempre colocado um dreno com purgador antes da válvula de regulagem do vapor.

Na tubulação de descarga é freqüente o emprego de uma junta de expansão imediatamente na saída da turbina, para permitir que a linha possa ser o mais curta e reta possível, e também para evitar a transmissão de esforços da tubulação para a turbina. Em turbinas que descarregam para linhas de vapor exausto, devem existir uma válvula de segurança (descarregando para a atmosfera) e uma válvula de bloqueio na saída de cada turbina.

Todas as válvulas devem ser colocadas em tal posição que seja fácil a sua operação manual. A Fig. 12.6 mostra as tubulações para uma turbina.

3. *Tubulações com fluxo por gravidade ou por termossifão* — As tubulações que tenham o fluxo por gravidade ou por termossifão também devem ser projetadas, tanto quanto possível, sem pontos altos ou pontos baixos. Essa recomendação é tanto mais severa quanto menor for a diferença de pressão entre os pontos extremos.

4. *Tubulações de distribuição* — As tubulações de distribuição que atendem a um grande número de pontos de consumo espalhados pela área da indústria podem ter freqüentemente, com vantagens, um traçado em anel fechado (Fig. 12.7), para equilibrar as pressões ao longo da linha e dar maior segurança e flexibilidade operacional. O traçado em anel permite também que seja mantido o fluido constantemente circulando, independente do consumo, o que é vantajoso para líquidos quentes, viscosos, ou com tendência a depositar sedimentos. Em áreas extensas pode ser feito um traçado em malha, com vários anéis justapostos. Colocando-se válvulas de bloqueio em posições adequadas, podem-se isolar trechos da tubulação para reparos ou modificações, mantendo-se o abastecimento aos outros pontos.

O traçado em malha ou em anel é típico para as redes de distribuição de vapor, de água e de ar comprimido, redes de incêndio, e também para as tubulações de óleo combustível para caldeiras. Nesse último caso, o anel geral, partindo dos tanques de armazenagem, passa pelas bombas, aquecedores de óleo, queimadores das caldeiras, e volta aos tanques de armazenagem, para onde é retornado o excesso de óleo.

5. *Tubulações em estações de redução de vapor* — A Fig. 12.8 mostra uma instalação típica de uma estação de redução de pressão de vapor.

13

DESENHOS DE TUBULAÇÕES

13.1 TIPOS DE DESENHOS DE TUBULAÇÕES

Em um projeto de tubulações industriais, fazem-se geralmente os seguintes tipos principais de desenhos de tubulações:

1. Fluxogramas (flow-sheets). (*)
2. Plantas de tubulação (piping plans).
3. Desenhos isométricos.
4. Desenhos de detalhes e de fabricação, desenhos de suportes, folhas de dados etc.

Além desses desenhos, um projeto de tubulações contém sempre vários outros documentos e outros tipos de desenhos, como será referido nos Itens 13.8 e 14.2, deste e do próximo capítulo.

Antes de vermos com mais detalhes cada um dos tipos de desenhos, vamos nos referir à questão da identificação das tubulações, vasos, equipamentos e instrumentos.

13.2 IDENTIFICAÇÃO DE TUBULAÇÕES, VASOS, EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS

Em todos os projetos industriais é necessário adotar-se uma sistemática de identificação para todas as tubulações, vasos, equipamentos e instrumentos. Essa identificação, que individualiza todos e cada um dos elementos do sistema, é necessária, não só para a própria execução dos desenhos e dos cálculos, na fase de projeto, como também e principalmente para facilitar a construção e a futura operação e manutenção da instalação.

As tubulações costumam ser designadas por uma identificação constituída por uma sigla composta, que geralmente contém de forma abreviada convencional as seguintes informações: Diâmetro nominal do tubo, indicação do tipo ou da classe de fluido contido, número de ordem da linha e indicação da Especificação de Material. Por exemplo, a identificação completa de uma linha poderia ser: 8"V 453 Ac, que significaria:

- 8" — Diâmetro nominal do tubo.
- V — Classe de fluido (vapor).
- 453 — Número de ordem da linha (dentro de cada área).
- Ac — Sigla indicativa da "Especificação de Material" da tubulação, que são as normas específicas detalhando todos os materiais, como já explicado no Item 8.13.

As classes de fluidos são designadas por uma ou duas letras, cuja escolha depende da prática de cada projetista e da natureza da instalação. Muitos usuários e organizações que se dedicam a projetos de tubulação têm códigos de siglas para fluidos já estabelecidos e válidos para todos os projetos. Não há em geral vantagem em especificar individualmente cada fluido, principalmente quando se tratar de instalações em que a variedade de fluidos seja muito grande.

A numeração das tubulações em uma mesma instalação costuma ser feita adotando-se séries numéricas diferentes para cada classe de fluido e cada área. Por exemplo, todas as tubulações de hidrocarbonetos terão a letra H, as de água a letra A, as de vapor a letra V etc. Da mesma forma, todas as tubulações da área 1 (de qualquer classe de fluido) terão a numeração começando em 100, as da área 2 a numeração começando em 200, e assim por diante.

Quando uma tubulação muda de diâmetro, de classe de fluido, de área, ou de especificação de material, deve receber outra sigla de identificação.

A identificação dos vasos e equipamentos costuma ser feita adotando-se para cada tipo uma série numérica diferente precedida de uma ou duas letras indicativas. Por exemplo, todas as bombas serão precedidas da letra B, os compressores de C, as torres de T, os trocadores de calor de P, os tanque de TQ etc.

Da mesma forma que para as classes de fluidos, muitos usuários e organizações de projeto de tubulações têm siglas alfabéticas indicativas já estabelecidas para os tipos usuais de vasos e equipamentos, válidas para todos os projetos.

(*) A rigor, os fluxogramas não são propriamente desenhos de tubulação — como será explicado, a seguir, no Item 13.3 —, e sim desenhos que representam o funcionamento de um sistema, onde se inclui, além da rede de tubulações, todos os vasos, tanques, máquinas e outros equipamentos e instrumentos ligados ou pertencentes à rede de tubulações.

Geralmente adota-se também, para cada área, uma série numérica diferente. Por exemplo, na área 1 as bombas serão: B-101, B-102, B-103 etc., os trocadores serão: P-101, P-102, P-103 etc.; na área 2 as bombas serão: B-201, B-202, B-203 etc., os trocadores serão: P-201, P-202, P-203 etc., e assim por diante, para as demais áreas e classes de vasos e equipamentos. Quando se tem dois ou mais equipamentos iguais entre si e executando o mesmo serviço, é usual dar-se a todos o mesmo número, distinguindo-se um do outro pelo acréscimo de uma letra. Por exemplo, B-105A, B-105B e B-105C seriam três bombas iguais e para o mesmo serviço. Esse caso é muito freqüente nos equipamentos que trabalham em paralelo, ou quando uns são reserva dos outros.

A identificação dos instrumentos e das válvulas de controle é feita da mesma forma, adotando-se siglas diferentes para cada tipo de instrumento ou válvula de controle, e séries numéricas diferentes para cada área. As siglas dos instrumentos e das válvulas de controle são geralmente as estabelecidas pelas normas do ISA (Instrumentation Society of America). A tabela a seguir mostra as siglas convencionais dos tipos mais comuns de instrumentos e válvulas de controle:

FC (Flow controller) — Controlador de fluxo.
FCV (Flow control valve) — Válvula controladora de fluxo.
FM (Flow meter) — Medidor de fluxo.
FRC (Flow record controller) — Controlador registrador de fluxo.
FRCV (Flow record control valve) — Válvula controladora registradora de fluxo.
HCV (Hand control valve) — Válvula de controle manual.
LC (Level controller) — Controlador de nível.
LCV (Level control valve) — Válvula controladora de nível.
LI (Level indicator) — Indicador de nível.
LRC (Level record controller) — Controlador registrador de nível.
LRCV (Level record control valve) — Válvula controladora registradora de nível.
OF (Orifice flange) — Flanges com placa de orifício.
PC (Pressure controller) — Controlador de pressão.
PCV (Pressure control valve) — Válvula controladora de pressão.
PdCV (Pressure-differencial control valve) — Válvula controladora de pressão diferencial.
PI (Pressure indicator) — Indicador de pressão (manômetro).
PRC (Pressure record controller) — Controlador registrador de pressão.
PRCV (Pressure record control valve) — Válvula controladora registradora de pressão.
TC (Temperature controller) — Controlador de temperatura.
TCV (Temperature control valve) — Válvula controladora de temperatura.
ThI (Temperature indicator) — Indicador de temperatura (termômetro).
TRC (Temperature record controller) — Controlador registrador de temperatura.
TRCV (Temperature record control valve) — Válvula controladora registradora de temperatura.

Todas as vezes que em qualquer desenho, folha de cálculo, lista de material, especificação, ou qualquer outro documento do projeto figurar alguma tubulação, vaso, equipamento ou instrumento, os mesmos devem ser sempre designados por sua identificação completa. Depois da instalação construída, é usual também pintar as siglas de identificação em cada vaso ou equipamento, e de espaço em espaço em cada tubulação.

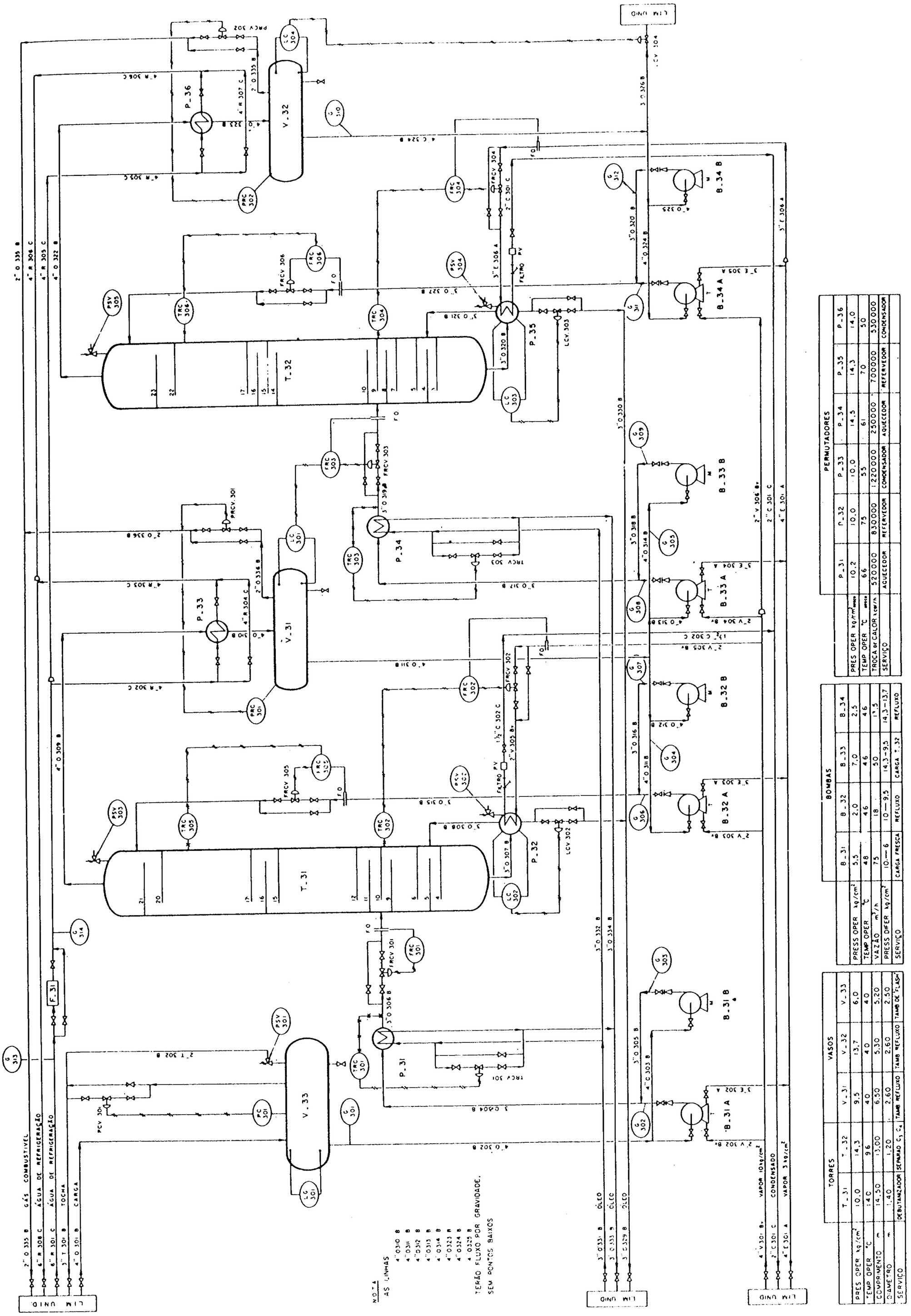
Costuma-se fazer também a numeração das colunas de sustentação dos suportes principais de tubulações elevadas em áreas de processamento. Para essa numeração adota-se em geral uma série numérica começando em 1 para cada área de processamento. A numeração das colunas deve também aparecer em todos os desenhos, como mostra o exemplo da Fig. 9.2.

13.3 FLUXOGRAMAS

Os fluxogramas são desenhos esquemáticos, sem escala, que mostram todo um sistema constituído por diversos vasos, equipamentos e instrumentos, e a respectiva rede de tubulações a eles ligada. Os fluxogramas têm apenas a finalidade de mostrar o funcionamento do sistema, não se destinando a nenhum efeito de fabricação, construção ou montagem. Costumam ser feitos dois tipos gerais de fluxogramas:

1. *Fluxogramas de processo* (*process flow-sheet*) — Os fluxogramas de processo são desenhos preparados pela equipe de projeto de processo (veja Item 14.1), na fase inicial de um projeto. Nesses desenhos deve estar figurado o seguinte:

— Equipamentos de caldeiraria principais (tanques, torres, vasos, reatores, fornos, trocadores de calor etc.), com indicação das características básicas, tais como tipo, dimensões gerais, pressão e temperatura de operação, número de bandejas, carga térmica etc.
— Máquinas principais (bombas, compressores, ejetores etc.), com indicação das características básicas, tais como vazão, pressão e temperatura de operação etc.
— Tubulações principais, com indicação do fluido contido e do sentido do fluxo.
— Principais válvulas de bloqueio, regulagem, controle, segurança e alívio (indicadas por suas convenções).
— Instrumentos principais indicados por suas convenções.



PERMUTADORES	P_34	P_35	P_36
PRES OPER kg/cm² manom	14,5	14,3	14,0
TEMP OPER °C	61	70	50
TROCA or CALOR kcal/h	250000	700000	330000
SERVIÇO	AQUECEDOR	REFERVEDOR	CONDENSADOR

PERMUTADORES	P_31	P_32	P_33
PRES OPER kg/cm² manom	10,2	10,0	10,0
TEMP OPER °C	66	75	55
TROCA or CALOR kcal/h	520000	830000	1220000
SERVIÇO	AQUECEDOR	REFERVEDOR	CONDENSADOR

BOMBAS	B_31	B_32	B_33	B_34
PRES OPER kg/cm²	5,5	2,0	7,0	2,5
TEMP OPER °C	48	46	46	46
CAPACIDADE m³/h	75	18	50	17,5
PRESS DIFER kg/cm²	10 — 6	10 — 9,5	14,3 — 9,5	14,3 — 13,7
SERVIÇO	CARGA FRESCA	REFLUXO	CARGA T_32	REFLUXO

VASOS	V_31	V_32	V_33
PRES OPER kg/cm²	9,5	13,7	6,0
TEMP OPER °C	40	40	40
COMPRIMENTO m	6,50	5,30	5,20
DIAMETRO m	2,60	2,60	2,50
SERVIÇO	TAMB REFLUXO	TAMB REFLUXO	TAMB DE FLASH

TORRES	T_31	T_32
PRES OPER kg/cm²	10,0	14,3
TEMP OPER °C	140	96
COMPRIMENTO m	14,50	13,00
DIAMETRO m	1,40	1,20
SERVIÇO	DEBUTANIZADOR	SEPARAD C₃ C₄

Fig. 13.1 Fluxograma.

Em princípio, o que deve ser mostrado nesses fluxogramas são os elementos (equipamentos, máquinas, tubulações, instrumentos etc.), que façam parte, ou que sejam essenciais, aos circuitos principais do processo. A quantidade e a extensão das informações contidas nesses desenhos variam muito de acordo com a prática dos projetistas e a finalidade específica do fluxograma. É comum esses desenhos mostrarem, para cada tubulação e cada equipamento, os respectivos valores da pressão e da temperatura de operação, bem como o sentido de fluxo e a vazão das tubulações e os balanços de massa e de energia do sistema.

Os fluxogramas de processo devem ainda conter as exigências que possam existir quanto à localização dos equipamentos (em planta ou em elevação) para atender a necessidades de serviço, tais como equipamentos com fluxo por gravidade, tubulações com mínimo de perda de carga etc.

2. *Fluxogramas mecânicos ou de detalhamento* (*engineering flow-sheets*) — Esses desenhos são também preparados pela equipe de processo, em fase mais adiantada do projeto, com a colaboração da equipe de projeto mecânico. São um desenvolvimento dos fluxogramas de processo, e os desenhos básicos a partir dos quais será feito todo o projeto de tubulações.

Esses desenhos devem conter as seguintes informações, como mostra a Fig. 13.1:

a) Todos os equipamentos de caldeiraria principais, com sua identificação e caracterísiticas básicas.

b) Todas as máquinas principais, com sua identificação e características básicas.

c) Todos os equipamentos e máquinas secundários (filtros, purgadores, figuras "8" etc.), desde que tenham alguma função no processo ou na operação, manutenção ou montagem.

Todos esses elementos devem ser mostrados individualmente, um por um, por meio de sua identificação e de convenções de desenho, mesmo quando forem equipamentos de reserva, ou vários iguais entre si. É necessário que seja indicada também qualquer exigência de serviço que haja com relação à localização dos equipamentos, como por exemplo: equipamentos que devam ficar próximos entre si (com indicação da distância máxima), equipamentos que devam ficar com uma diferença de elevações obrigatória (para fluxo por gravidade, por exemplo), com a indicação da diferença de elevações requerida etc.

d) Todas as tubulações, tanto as tubulações principais de processo, como as de utilidades e ainda as secundárias e auxiliares, com indicação do diâmetro, sentido de fluxo, identificação completa, bem como condições ou exigências especiais de serviço ou de traçado, se houver; entre essas condições e exigências mais freqüentes podemos citar:

— Tubulações com declividade constante
— Tubulações com fluxo por gravidade ou por termossifão.
— Tubulações sem pontos altos ou sem pontos baixos.
— Tubulações com traçado retilíneo obrigatório.
— Tubulações com mínimo de perdas de carga.
— Tubulações com arranjos simétricos ou com arranjos não-usuais obrigatórios.
— Tubulações para fluidos com duas fases presentes.
— Tubulações sujeitas a vibrações ou a ruídos.

Para as tubulações que tiverem fluxo por gravidade ou por termossifão deve ser indicada a diferença de elevações necessária entre os pontos extremos.

e) Todas as válvulas colocadas nas respectivas linhas e com indicação do tipo geral (bloqueio, regulagem, controle, segurança etc.) por meio de convenções.

f) Todos os instrumentos (geralmente de acordo com as convenções do ISA) com indicação de tipo, identificação, tamanho, arranjos respectivos de válvulas, tubo de contorno etc., inclusive flanges de orifício. Devem também figurar as linhas de ar comprimido de comando das válvulas de controle com as respectivas ligações.

Muitos projetistas de projeto básico fazem um outro tipo de fluxograma, que é intermediário entre os dois tipos de fluxogramas acima descritos. Nesses fluxogramas algumas das informações citadas para os fluxogramas mecânicos não são geralmente incluídas, devendo ser complementadas pelo projetista de detalhamento. Essas informações são, por exemplo, a identificação completa das linhas, os sistemas a serem projetados pelo projetista de detalhamento ou pelos fornecedores de equipamentos, linhas de drenos e de respiros, sistemas de utilidades (água, ar comprimido, vapor etc).

Com relação aos vasos e equipamentos, as características que devem aparecer nos fluxogramas são apenas as que interessam ao processo. Na maioria dos casos, por exemplo, para um tanque, figurará apenas o volume, para uma torre deverão constar o diâmetro, a altura, o número de bandejas e a posição dos bocais, para uma bomba teremos a vazão e a altura manométrica e, assim por diante.

Para todos os tipos usuais de vasos, equipamentos, válvulas, instrumentos etc., existem convenções de desenho que devem ser obedecidas; a Fig. 13.2 mostra algumas dessas convenções. Para outras convenções de fluxogramas, veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já mencionado. Essas convenções não são regidas por nenhuma norma, e, assim, embora a maioria seja de uso geral, algumas podem variar conforme a prática de projetistas e usuários.

A Fig. 13.1 é um exemplo de um fluxograma de detalhamento; note-se que é o fluxograma da "Unidade 3", cuja planta de arranjo geral é a Fig. 9.2, já citada.

No desenho de todos os fluxogramas — tantos os fluxogramas de detalhamento como os fluxogramas de processo —, é usual que sejam observadas as seguintes normas de desenho:

a) Deve ser seguida uma certa ordem racional na disposição de vasos, equipamentos e tubulações, independentemente da verdaira disposição física desses elementos

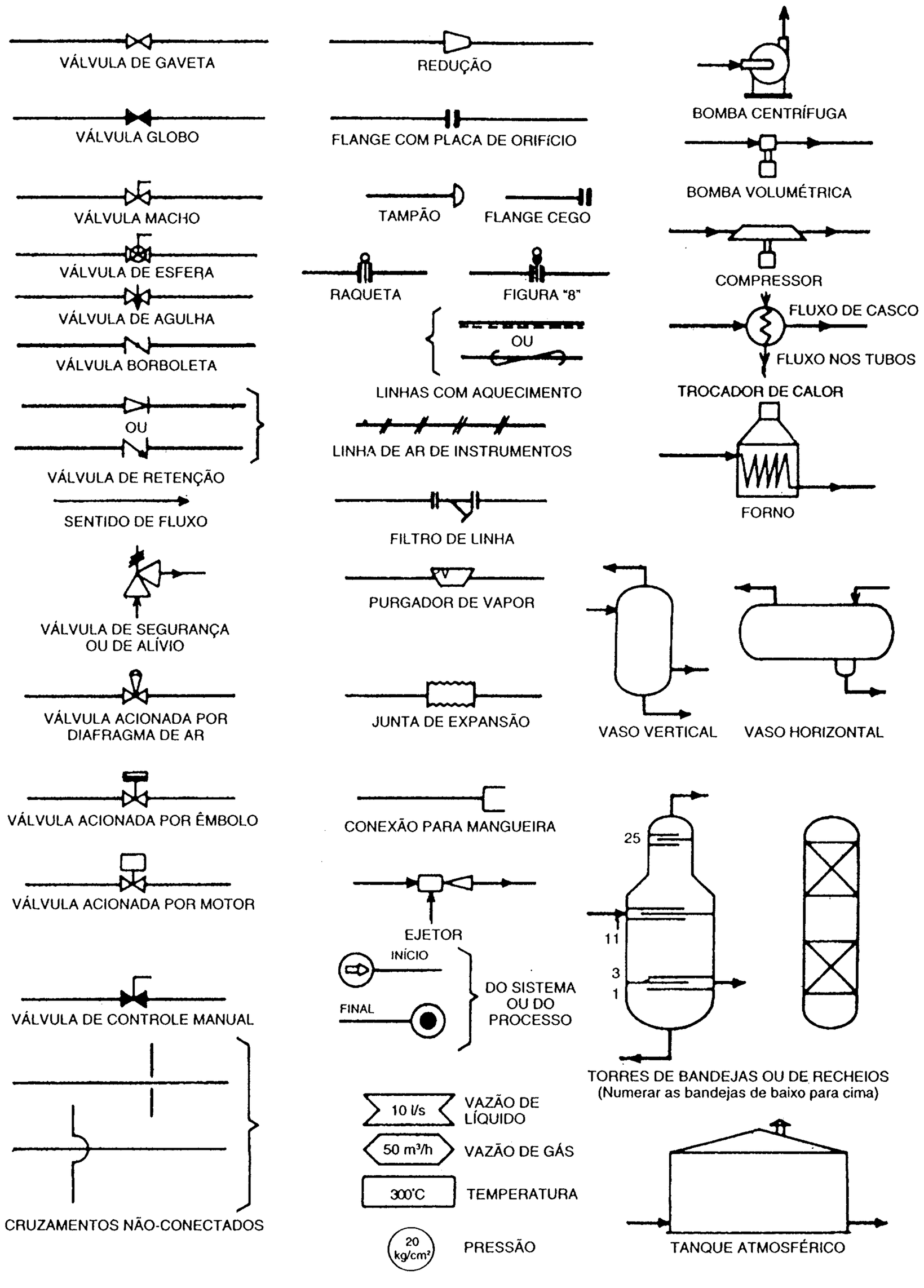


Fig. 13.2 Convenções de fluxograma.

no terreno. O desenho é geralmente feito de forma que o sentido geral do fluxo nas tubulações principais seja da esquerda para a direita no papel.

b) É usual também que o desenho seja dividido imaginariamente em três faixas horizontais: na faixa superior desenham-se os vasos, tanques, torres, reatores, fornos e outros equipamentos principais; na faixa intermediária os trocadores de calor, e na faixa inferior os equipamentos mecânicos: bombas, compressores etc. Como regra geral, em cada folha de fluxograma costumam figurar, no máximo, 10 a 15 equipamentos principais.

c) Todas as tubulações são representadas por linhas horizontais ou verticais. É usual fazer-se o desenho das tubulações em traço mais forte do que os vasos, equipamentos e linhas de ar de instrumentos; pode-se também desenhar as tubulações principais em traço mais forte do que as secundárias ou auxiliares. Em qualquer caso, as linhas horizontais devem ser contínuas, e as linhas verticais são interrompidas ao se cruzarem com as linhas horizontais. As setas indicativas do sentido de fluxo são colocadas nas mudanças de direção. O espaçamento entre as tubulações, no desenho, deve ser, no mínimo, de 6 mm.

Em redes complexas de tubulações, cujo fluxograma não possa ser desenhado com clareza em uma única folha, subdivide-se o fluxograma em várias folhas, e as tubulações que passam de uma folha para outra devem estar na mesma posição relativa em ambas as folhas, para facilitar a leitura. É comum também, nesses sistemas complexos, fazerem-se vários fluxogramas de tubulações na mesma área, mostrando, por exemplo, um as tubulações principais, outro as tubulações auxiliares, outro as tubulações de serviço etc. Nos pontos em que houver interligação das tubulações desenhadas em fluxogramas diferentes, devem ser adotadas convenções especiais para indicar essas interligações. No exemplo da Fig. 13.1, as linhas que saem do fluxograma estão assinaladas com um retângulo com a indicação "limite da unidade".

É usual acrescentar-se em cada folha de fluxograma uma tabela com os dados principais de todos os equipamentos que aparecem na folha, como mostrado na margem inferior da Fig. 13.1.

13.4 PLANTAS DE TUBULAÇÃO

As plantas de tubulação são desenhos feitos em escala, contendo todas as tubulações de uma determinada área, representadas em projeção horizontal, olhando-se de cima para baixo. As Figs. 13.3 (*a*), (*b*), (*c*), (*d*) são exemplos de plantas de tubulação; observe-se que correspondem à "Unidade 3", cujo fluxograma é a Fig. 13.1 e cuja planta de arranjo geral é a Fig. 9.2.

Os tubos de diâmetros até 12″ são representados por um traço único, na posição da linha de centro. Os tubos de diâmetros maiores costumam ser representados por dois traços paralelos, mostrando o tubo em escala, com a finalidade de dar uma melhor idéia das distâncias entre os tubos. Em todas as tubulações devem ser indicados a sua identificação completa e o seu sentido de fluxo. As válvulas e acessórios de tubulação são representados por convenções especiais (Fig. 13.4) e devem ser, tanto quanto possível, desenhados em escala.(*) Devem ser mostradas também as posições das hastes das válvulas (para cima ou para os lados).

Alguns projetistas desenham para as válvulas de 3″, ou maiores, o volante e a haste da válvula (em posição aberta), para determinar a melhor posição para operação, e assinalar a obstrução causada pelas hastes, principalmente quando horizontais.

Da mesma forma que para os fluxogramas, as convenções de plantas também não são regidas por normas, podendo assim variar de uma fonte para outra.

Nas plantas de tubulação devem figurar as elevações de todas as tubulações (geralmente elevações de fundo, a menos que seja indicado em contrário), elevações de linhas de centro de equipamentos, bem como de pisos, plataformas etc., e também as distâncias entre tubos paralelos e todas as cotas importantes da tubulação: localização de mudanças de direção de tubulações, derivações, curvas de expansão, suportes de qualquer tipo etc. As elevações costumam ser indicadas em metros, e as cotas e distâncias em milímetros.

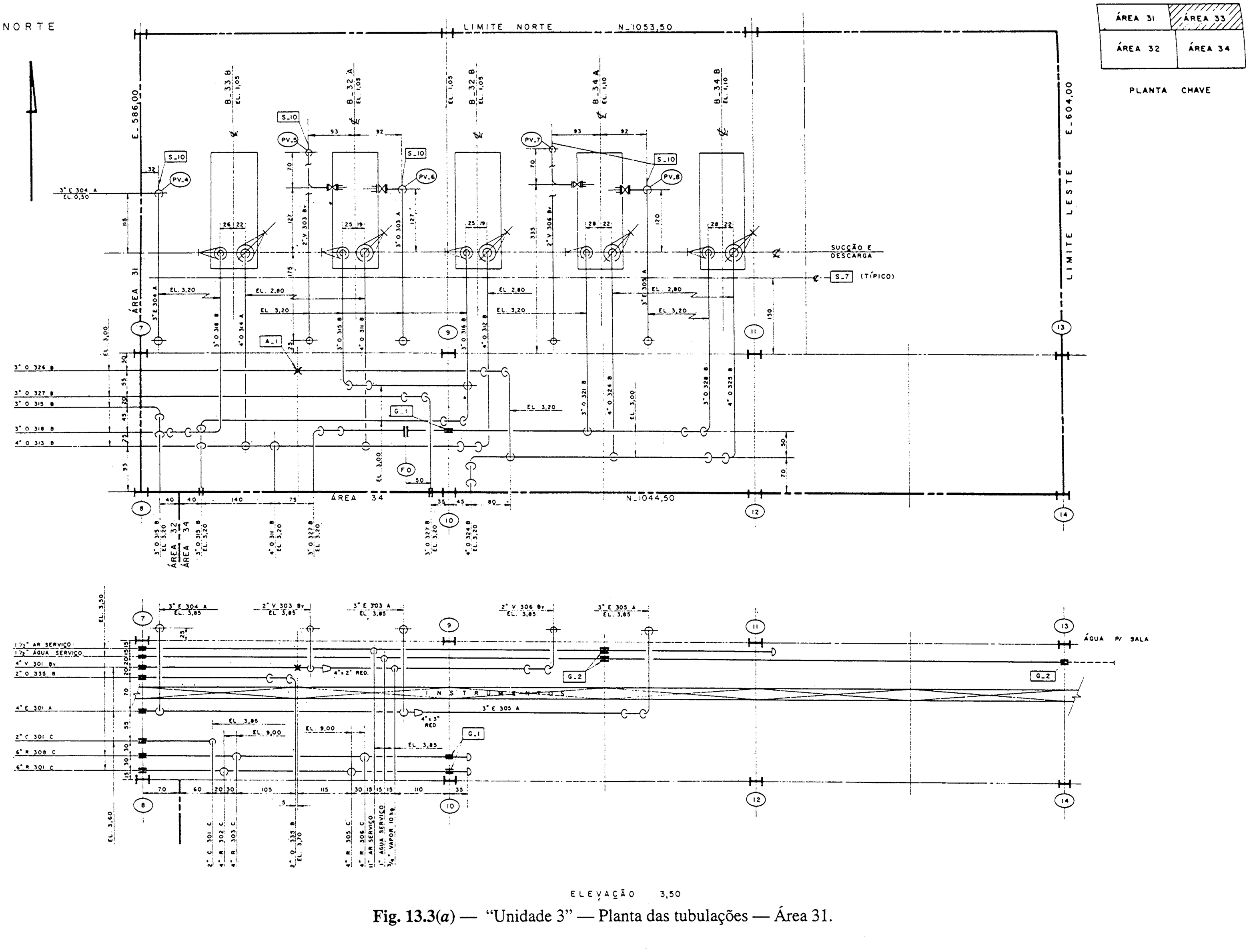
Além de todas as tubulações com suas válvulas e acessórios, esses desenhos devem também mostrar o seguinte:

— Linhas principais de referência, com suas coordenadas (veja Item 9.4), tais como: limites de áreas, limites dos desenhos, linhas de centro de ruas.
— Todas as construções existentes na área representada, qualquer que seja a natureza ou finalidade: prédios, ruas, acessos, diques, talúdes, valas de drenagem, bases de equipamentos, estruturas etc. Essas construções são indicadas simplesmente pelo seu contorno (em linhas finas) e coordenadas ou posição cotada. A finalidade dessa indicação, em que nada pode ser omitido, é assinalar tudo o que constitui obstáculo ao traçado de tubulações, inclusive para futuras ampliações.
— Todos os suportes de tubulação, com numeração, indicação convencional do tipo, posição e elevação cotadas, inclusive as colunas das estruturas de apoio de tubos elevados, indicadas por sua numeração. Os suportes estão indicados nas Figs. 13.3 por siglas dentro de pequenos retângulos (S-10, G-1 etc.).
— Todos os vasos, equipamentos e máquinas ligados à rede de tubulações, com identificação, desenho do contorno de sua base, e com posição e elevação cotadas da linha de centro e dos bocais de onde são conectadas as tubulações.
— Plataformas, passarelas e escadas de acesso, com posição, dimensões e elevação cotadas. É conveniente indicar o sentido sobe/desce de escadas e rampas, por meio de setas.
— Todos os instrumentos, com identificação, indicação convencional e posição aproximada. Os conjuntos constituídos pelas válvulas de controle e respectivas tubulações de contorno e válvulas de bloqueio e de regulagem (como o exemplo da Fig. 10.27) são representados nas plantas simplesmente por um pequeno retângulo com a identificação da válvula de controle, de acordo com as siglas do ISA. Vejam-se, por exemplo, as válvulas de controle FRCV 301, FRCV 302, TRCV 301 etc., na Fig. 13.3(b).

A Fig. 13.5 é um trecho de uma planta de tubulação mostrando o emprego da maioria das convenções da Fig. 13.4 e também as diversas informações, acima relacionadas, que devem constar nas plantas.

As diversas folhas de plantas de tubulação devem limitar-se entre si formando um mosaico contínuo cobrindo toda área abrangida pela rede de tubulações. Os limites das

(*) Para outras convenções de plantas de tubulação, veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já citado.



ELEVAÇÃO 3,50

Fig. 13.3(*a*) — "Unidade 3" — Planta das tubulações — Área 31.

ÁREA 31 | ÁREA 33
ÁREA 32 | ÁREA 34

NORTE

LIMITE OESTE

N_1044,50

N_1032,50

E_568,00

E_586,70

ÁREA 31

ÁREA 33

ÁREA 34

PARA CONT VER AREA 31

6" R 301 C
EL 1,75

F_31
EL 0,65

6" R 301 C

3" T 301 B

4" D 301 B

4" D 302 B

3" D 306 B

3" D 304 B

3" D 333 B

3" D 332 B

3" D 317 B

EL 3,20

3" D 319 B
EL 3,20

2" V 305 B
EL 3,00

3" D 318 B

1½" C 302 C

3" D 304 B

3" D 327 B

3" D 325 B

3" D 322 B

3" E 306 A
EL 3,00

3" D 315 B
EL 3,20

FRCV 301

FRCV.303

FRCV.302

FRCV.304

G_1

G_3

G_4

A_1

S_2

S_3

S_4

S_5

EL 0,70

EL 6,40

EL 3,00

EL 3,30

EL 6,00

EL 13,35

EL 9,00

EL 3,40

EL 6,20

EL 3,60

EL 8,20

EL 14,80

EL 0,25

PSV_301

PCV_301

TRCV_301

TRCV_303

LCV_302

LCV_303

PSV_302

PSV_304

PV_9

PV_10

2" T 302 B

3" D 329 B
EL 0,25

3" D 330 B
EL 0,25

4" D 322 B
EL 9,70

2" C 301 C
EL 2,20

3" D 321 B
EL 2,20

3" D 308 B
EL 2,20

3" D 307 B
EL 0,25

3" D 320 B

2" C 301 C
EL 0,30

4" D 309 B
EL 9,70

1½" C 302 C
EL 0,25

3" D 307 B
EL 1,85

2" V 305 Bv
EL 1,90

8 V 20"

PLAT. EL 9,20

PLAT EL 7,00

PLATAF
EL 7,00

V_33
EL 4,80

P_31

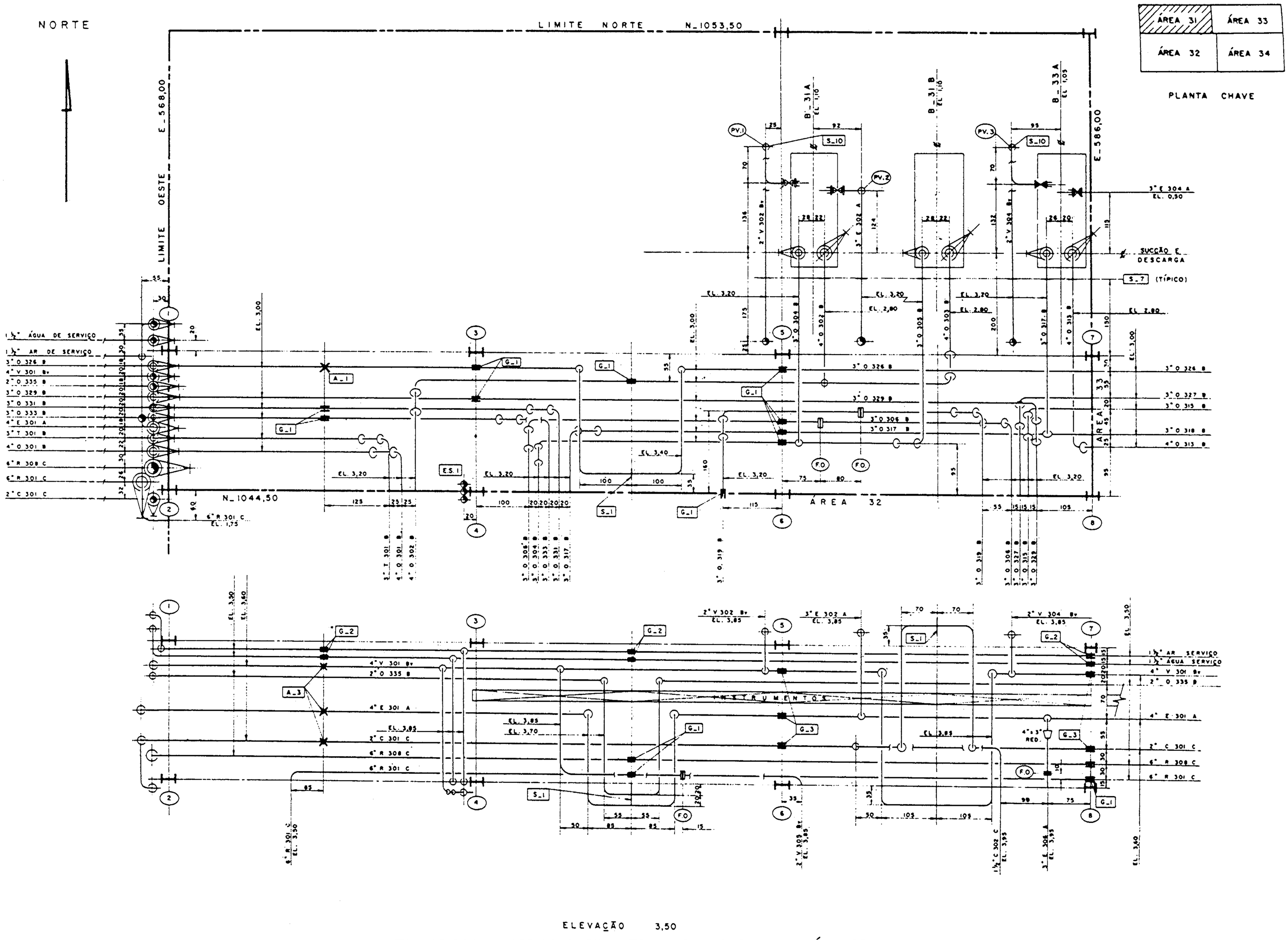
P_34

P_32
EL 1,20

T_31

P_35
EL 1,20

Fig. 13.3(*b*) — "Unidade 3" — Planta das tubulações — Área 32.



ELEVAÇÃO 3,50

Fig. 13.3(*c*) — "Unidade 3" — Planta das tubulações — Área 33.

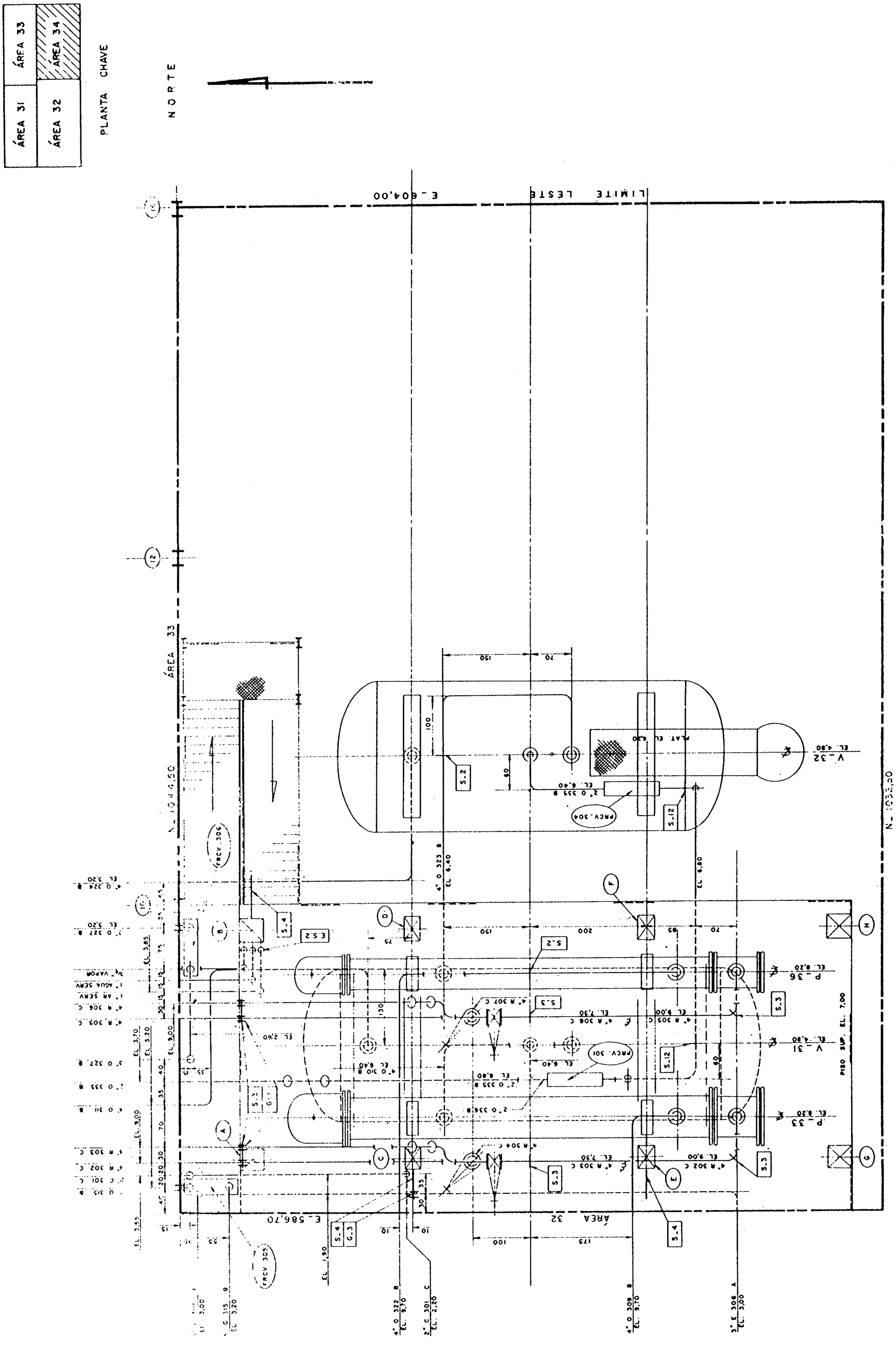


Fig. 13.3(*d*) — "Unidade 3" — Planta das tubulações — Área 34.

folhas devem ser os mesmos das plantas de arranjo geral, entretanto, como as plantas de tubulação costumam ser feitas em escala maior, a cada planta de arranjo geral correspondem várias folhas de plantas de tubulação. No exemplo das Figs. 13.3 cada folha de planta de tubulação é a quarta parte da área abrangida pela planta de arranjo geral da Fig. 9.2. Os limites dos desenhos são em geral os limites do terreno, linhas de centro de ruas e diques, limites das áreas de processo, armazenagem e manuseio etc. Dentro das áreas de processo, os limites entre as folhas costumam ser as linhas das fileiras de colunas de suporte das tubulações, como o limite mostrado entre as Figs. 13.3(*a*) e 13.3(*b*).

Em todas as folhas de desenho deve haver sempre indicação da orientação (Norte de projeto); nos limites de cada folha deve haver, também, a indicação das coordenadas e dos números das outras folhas de desenho que sejam continuação para qualquer lado.

Em áreas congestionadas em que existam muitos equipamentos e tubulações em mais de uma elevação, podem-se fazer, para maior clareza, mais de um desenho da mesma área, mostrando cada um as tubulações que correm entre dois planos horizontais. Suponhamos que para uma certa área sejam feitos três desenhos: um designado como sendo "nível do solo", outro designado como na "elevação 4 m" e outro na "elevação 8 m". O desenho no nível do solo mostrará todas as tubulações desde a elevação 4 m até o nível do solo, olhando-se de cima para baixo; o desenho na elevação 4 m mostrará as tubulações entre as elevações 8 m e 4 m, olhando-se também de cima para baixo, e o desenho na elevação 8 m mostrará as tubulações existentes acima da elevação 8 m e assim por diante para qual-

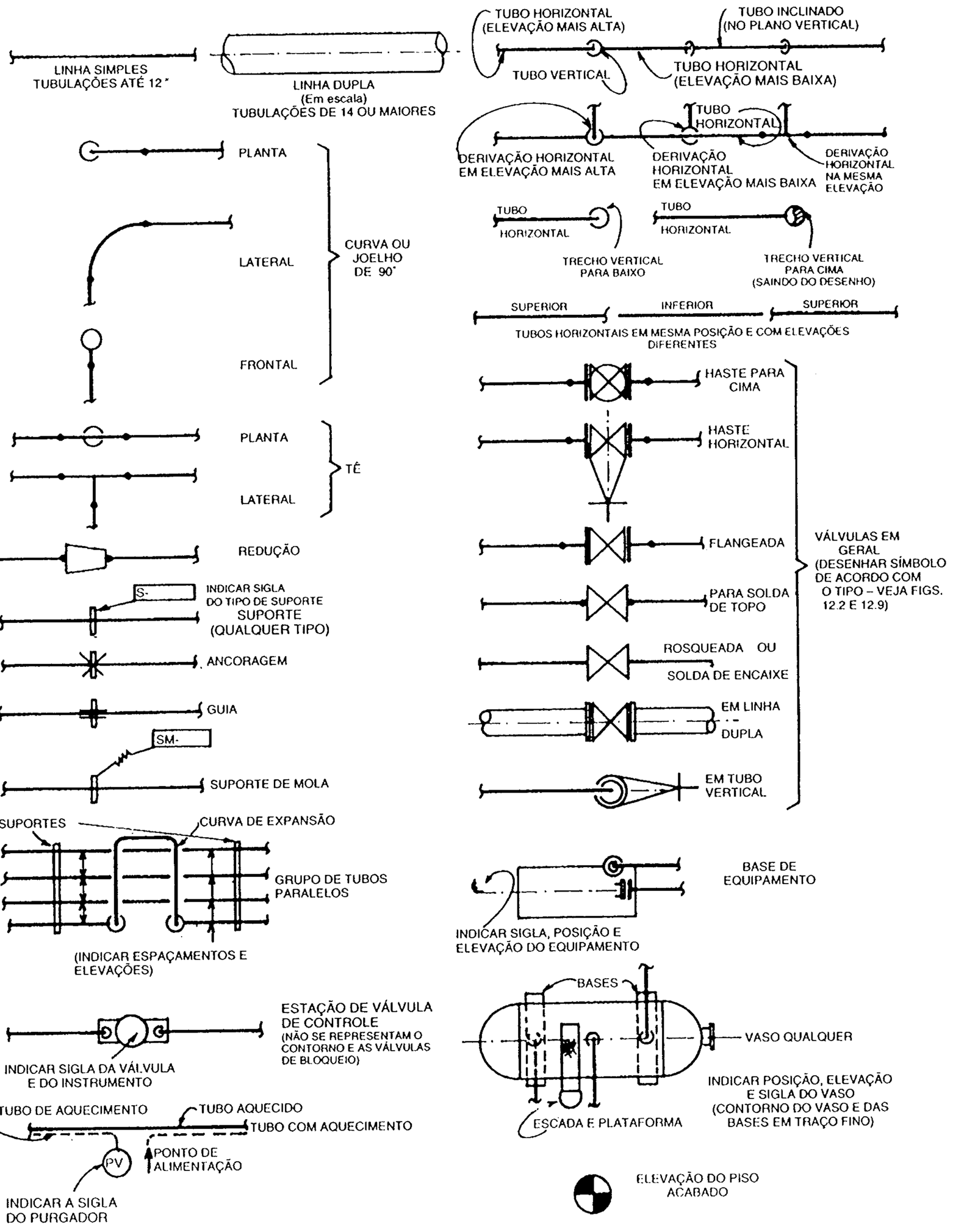


Fig. 13.4 Convenções de plantas.

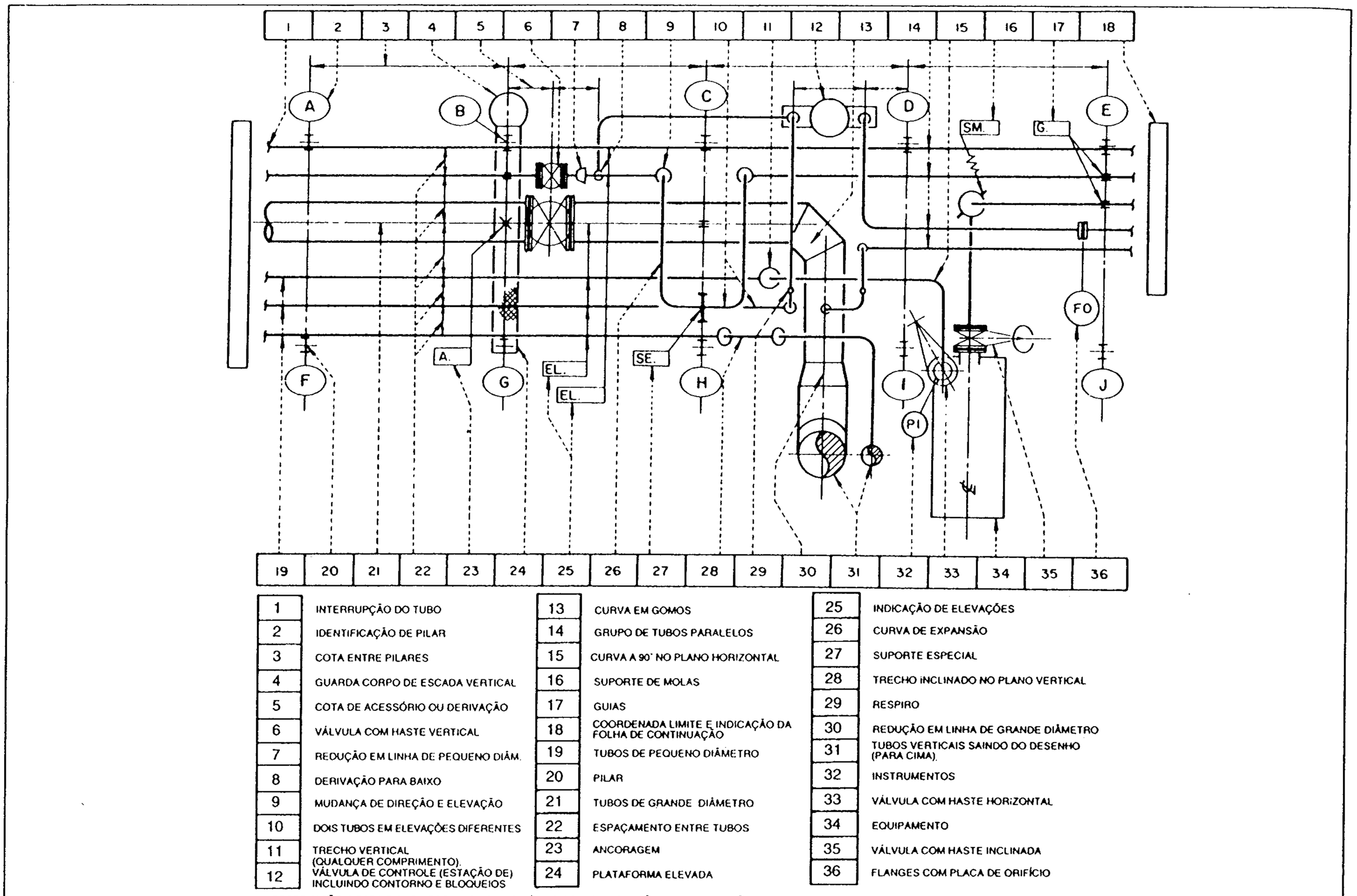


Fig. 13.5 Emprego das convenções de plantas.

quer outro caso. Nos exemplos das Figs. 13.3(*a*) e 13.3(*c*) a área entre as colunas de suporte das tubulações elevadas (na parte inferior dos desenhos) está repetida em duas elevações, uma designada como "nível do solo" e outra como "elevação 3,50 m". Os tubos verticais que passam, do desenho em uma elevação para o desenho em outra elevação, são representados como saindo do desenho, para baixo ou para cima, com as convenções mostradas na Fig. 13.4.

Em sistemas complexos, quando necessário para maior clareza, podem ser feitos também cortes, que são desenhos em projeção vertical. Pode haver também necessidade de se desenhar, em escala maior, detalhes em planta ou em corte de determinados trechos mais congestionados. Tanto os cortes como os detalhes, são também desenhados em escala e com as mesmas indicações e convenções das plantas.

Em todos os desenhos de plantas as tubulações são representadas em traço mais forte do que vasos, equipamentos, construções etc., como se pode ver nas Figs. 13.3; as linhas limites dos desenhos é usual representar em traço forte interrompido.

Para facilitar a montagem, na margem de cada folha de planta de tubulação, costuma-se colocar uma lista-resumo de todos os suportes que aparecem na referida folha. Essa lista indica, para cada tipo de suporte a respectiva quantidade e o desenho de detalhe de referência.

Em cada folha de planta de tubulação devem figurar ainda, em local conveniente, os números de todos os desenhos de referência relativos à planta em questão, tais como a planta de arranjo geral, o fluxograma, as demais plantas da mesma área em outras elevações (se houver), detalhes típicos, detalhes de suportes etc.

13.5 Plantas de Tubulação Fora de Áreas de Processo

Para as tubulações fora de áreas de processo (tubulações externas), o desenho das plantas segue em linhas gerais as mesmas rotinas e convenções das plantas de tubulações em áreas de processo. Entretanto, devido ao fato de serem em geral tubulações longas, ocupando uma grande área de terreno, e com relativamente poucos acidentes, alguns aspectos particulares costumam ser diferentes.

Para economia de desenho, as plantas são feitas em escala pequena (1:250, 1:500), destacando-se as áreas onde haja acidentes (grupos de derivações, curvas de expansão, grupos de válvulas etc.), que são mostradas em detalhe em

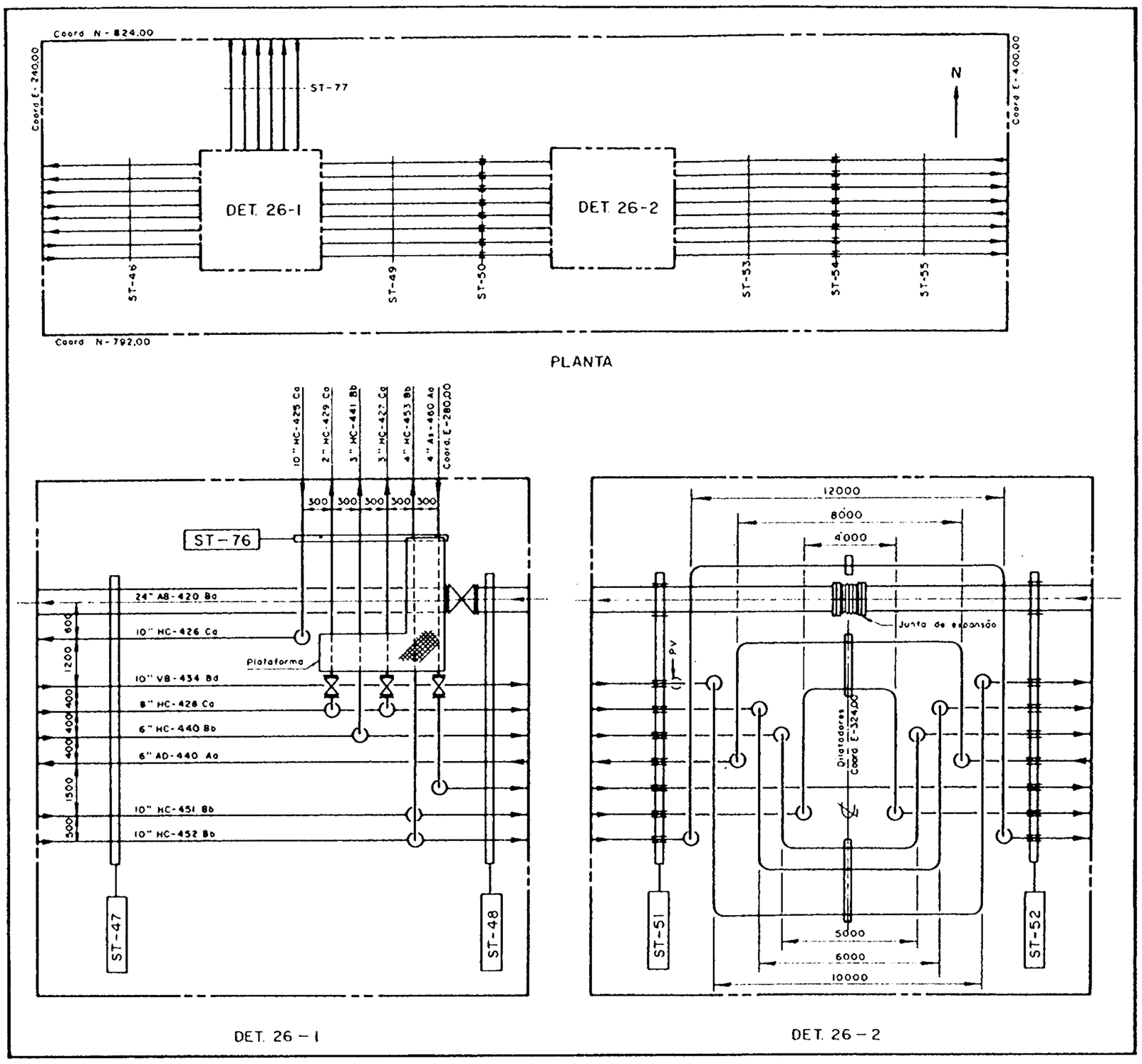


Fig. 13.6 Planta de tubulações externas.

escala maior (1:25, 1:50). Se possível esses desenhos de detalhe devem ser feitos na mesma folha do desenho geral, como mostra a Fig. 13.6.

É importante que sejam sempre indicadas as coordenadas limites das áreas mostradas em detalhe, estejam ou não os detalhes representados na mesma folha do desenho principal.

Os suportes, plataformas de acesso e de manobra de válvulas, purgadores de vapor etc., devem receber uma numeração de identificação ligada à numeração de cada folha de planta.

É prática usual não se fazer desenhos isométricos de tubulações externas, servindo assim as plantas como desenhos de montagem.

Quanto às cotas e elevações, segue-se nessas plantas os mesmos critérios já referidos no Item 13.4.

13.6 Rotina para o Desenho das Plantas de Tubulação

Relacionamos a seguir uma série de etapas que devem ser observadas na rotina para o desenho das plantas de tubulação:

1. Verificar a possibilidade ou não de desenhar, em uma única folha, todas as tubulações correspondentes a cada planta de arranjo geral. Como já foi assinalado, é em geral necessário subdividir a planta de arranjo geral em várias plantas de tubulação, para possibilitar o uso de uma escala adequada de desenho. As linhas de subdivisão devem ser as linhas de centro das ruas, diques, limites de unidades, fileiras de colunas etc.

2. Desenhar os contornos dos vasos, equipamentos, prédios, bases de concreto, estruturas, colunas de suporte de tubulações elevadas etc., que devam figurar em cada planta. Desenhar também as ruas, acessos, diques, valas, e outras construções que existam na área, inclusive os espaços reservados para a montagem e desmontagem de vasos, equipamentos e suas peças internas, e para futuras ampliações.

3. Verificar se são suficientes as larguras das faixas reservadas para a passagem de tubulações que constam na planta de arranjo geral; caso necessário, aumentar essas larguras, ainda que implique em redesenhar essa planta. Essa verificação é importante principalmente para as passagens principais (tubovias e pontes de tubulação) de grupos numerosos de tubos paralelos. Como já vimos no Item 10.5, essas larguras são avaliadas considerando-se o total máximo de tubulações paralelas com as distâncias mínimas; não esquecer de deixar espaço para a passagem de dutos de instrumentação (nas áreas de processo), e para as colunas de sustentação dos pontilhões de cruzamento (nas tubulações dentro de trincheiras). Em ambos os casos, deixar também

uma folga para ampliações futuras e espaço para as curvas de 45° das derivações, quando necessário (veja Item 10.9.3).

4. Fixar as cotas de elevação dos equipamentos e tubulações obedecendo às recomendações que já vimos no Item 10.8.

5. Escolher as elevações em que devam ser desenhadas cada planta; onde há grupos numerosos de tubulações correndo em várias elevações diferentes, é necessário às vezes o desdobramento do desenho da mesma área em mais de uma elevação.

6. Desenhar primeiro as tubulações de maior diâmetro (que ocupam mais espaço) e também as que tenham exigências especiais de serviço para o traçado.

7. Terminado o desenho verificar, em primeiro lugar, se está exatamente de acordo com o respectivo fluxograma.

8. Verificar em seguida, cuidadosamente e para cada tubulação, se os traçados têm flexibilidade suficiente. Em uma primeira etapa, antes de se fazerem os cálculos, essa verificação é feita a sentimento e por comparação com outras tubulações existentes. Colocar curvas de expansão ou modificar os traçados onde necessário.

9. Percorrer cuidadosamente cada tubulação, de um extremo ao outro, para verificar se todos os vãos entre os suportes estão dentro dos limites admissíveis. Colocar suportes adicionais ou modificar os traçados, onde necessário, para facilitar os suportes.

10. Verificar se não há interferências das tubulações entre si ou com os vasos, equipamentos, estruturas, suportes etc. Verificar também as posições das válvulas e de outros acessórios e equipamentos, quanto à facilidade de acesso, operação e manutenção. Modificar os traçados, quando necessário, para atender a esses pontos.

11. Colocar os dispositivos de restrição de movimentos (ancoragens, guias, batentes etc.), como vimos no Cap. 11.

12. Completar as plantas com os seguintes dados:

— Identificação das linhas.
— Coordenadas dos limites e das linhas principais.
— Cotas e elevações.
— Identificação dos vasos, equipamentos e instrumentos.
— Identificação e simbologia dos suportes.
— Numeração das colunas.
— Lista de suportes.
— Lista de desenhos de referência e notas gerais.

13.7 Desenhos Isométricos

Os isométricos são desenhos feitos em perspectiva isométrica, sem escala; faz-se geralmente um desenho para cada tubulação individual ou para duas ou três tubulações próximas que sejam interligadas. No caso de uma tubulação muito longa pode ser necessário subdividir a tubulação por vários desenhos isométricos sucessivos. Nunca se deve figurar em um mesmo desenho isométrico duas tubulações de áreas diferentes.

As Figs. 13.7(*a*), (*b*), (*c*) são exemplos de desenhos isométricos. Como pode ser observado, a Fig. 13.7 (*a*) representa uma das tubulações que aparece na planta da Fig. 13.3 (*a*); as Figs. 13.7(*b*) e (*c*), representam tubulações que aparecem na planta da Fig. 13.3(*b*). Note-se também que a tubulação mostrada no isométrico da Fig. 13.7(*a*) é a continuação de uma das tubulações do isométrico da Fig. 13.7(*b*).

Para melhor entendimento da representação em isométricos, a Fig. 13.8 mostra o mesmo sistema de tubulações desenhado em planta, em projeção vertical e em isométrico.

Nos desenhos isométricos os trechos verticais de tubulação são representados por traços verticais, e os trechos horizontais, nas direções ortogonais de projeto, são representados por traços inclinados com ângulo de 30° sobre a horizontal, para a direita ou para a esquerda. Os trechos de tubulação fora de qualquer uma das três direções ortogonais são representados por traços inclinados com ângulos diferentes de 30° devendo ser indicado no desenho o ângulo verdadeiro de inclinação do tubo com uma qualquer das três direções ortogonais de projeto. Para facilitar o entendimento, costuma-se desenhar em traços finos (como linhas de chamada) o paralelogramo ou o prisma do qual a direção inclinada do tubo seja uma diagonal. Os tubos curvados e as curvas nos tubos são representados por curvas em perspectiva, devendo sempre ser indicado o raio verdadeiro de curvatura da linha de centro do tubo. Todas as tubulações, qualquer que seja o diâmetro, são representados por um traço único, na posição da sua linha de centro. Para todas deve ser sempre indicada a sua identificação completa; alguns projetistas costumam também indicar o sentido de fluxo de cada tubulação.

No detalhamento dos isométricos não é usual que existam trechos de tubo reto com comprimento inferior a 150 mm, ou inferior ao próprio diâmetro do tubo (o que for maior), exceto para os niples em tubulações rosqueadas ou para solda de encaixe, com diâmetro inferior a 2″.

Nos desenhos isométricos devem figurar obrigatoriamente *todas* as peças componentes das tubulações, mostradas todas individualmente uma por uma, isto é, todos os trechos de tubos e todas as válvulas e todos os acessórios de tubulação (flanges, tês, joelhos, reduções, colares, luvas, uniões, niples etc.), bem como filtros, purgadores e outros equipamentos que fazem parte da tubulação. Deve também ser mostrada a localização de todas as emendas (soldadas, rosqueadas etc.) dos tubos e dos acessórios de tubulação.

As válvulas são usualmente designadas por siglas convencionais como as exemplificadas 3″VGA, 3″VRE etc., nos isométricos da Fig. 13.7. Os vasos, tanques, bombas, e demais equipamentos e máquinas conectados às tubulações, aparecem indicados apenas pela sua identificação, posição de linha de centro e pelos bocais de ligação com as tubulações.

É por meio dos desenhos isométricos que se faz o levantamento dos materiais necessários para a construção das tubulações e, por essa razão, nesses desenhos devem

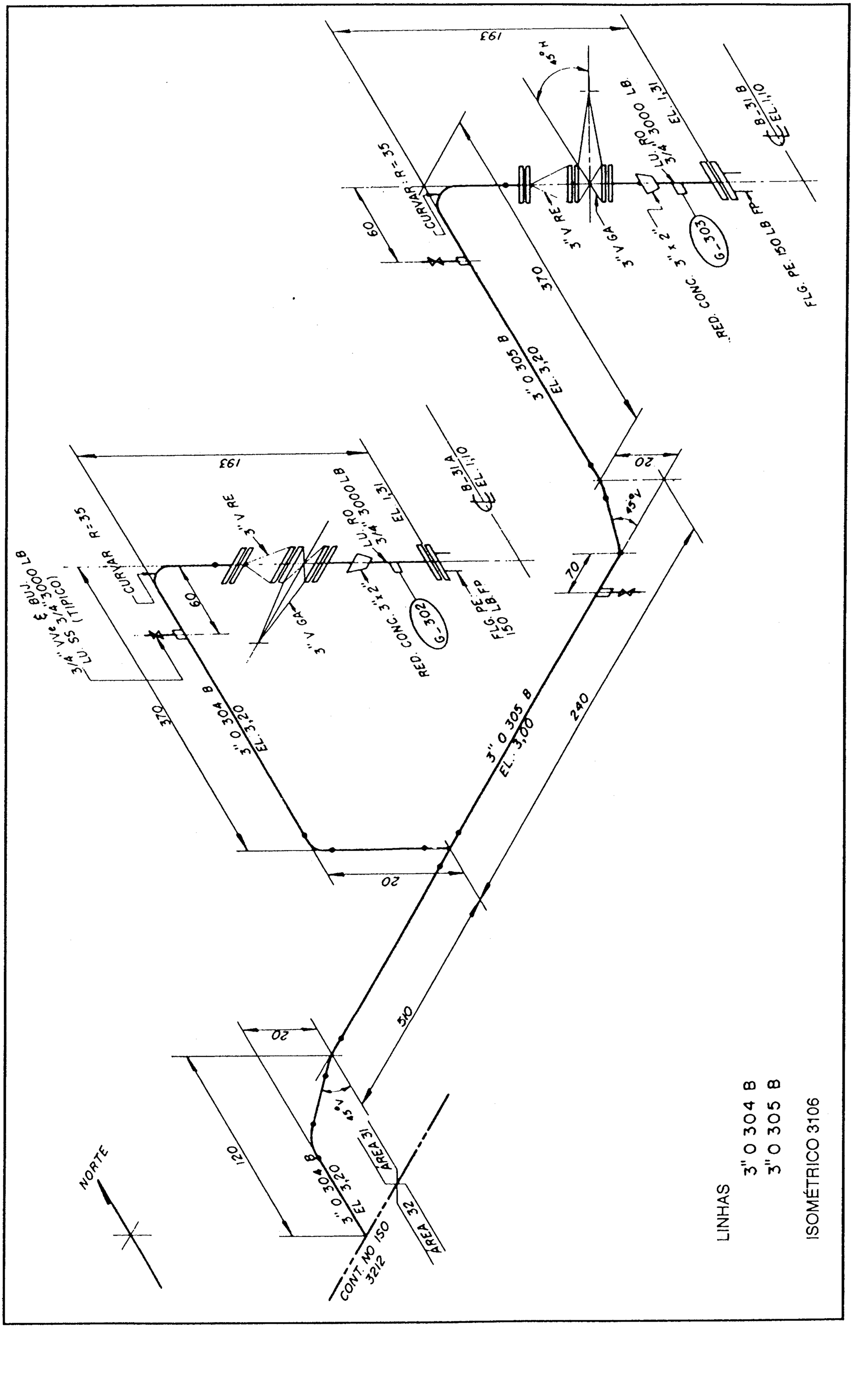

LINHAS
3" O 304 B
3" O 305 B
ISOMÉTRICO 3106
NORTE
CONT. NO ISO 3212
AREA 31
AREA 32
3" O 304 B EL. 3'20
3" O 305 B EL. 3'20
3" O 305 B EL. 3,00
CURVAR R=35
3/4" VVe SS (TIPICO)
3" V GA
3" V RE
LU. RO 3000 LB 3/4" SS
RED. CONC. 3"x2"
FLG. PE 150 LB. FP
B-31 A EL. 1'10
B-31 B EL. 1'10
G-302
G-303
45° H
45° V
193
370
240
120
60
70
20

Fig. 13.7(a)

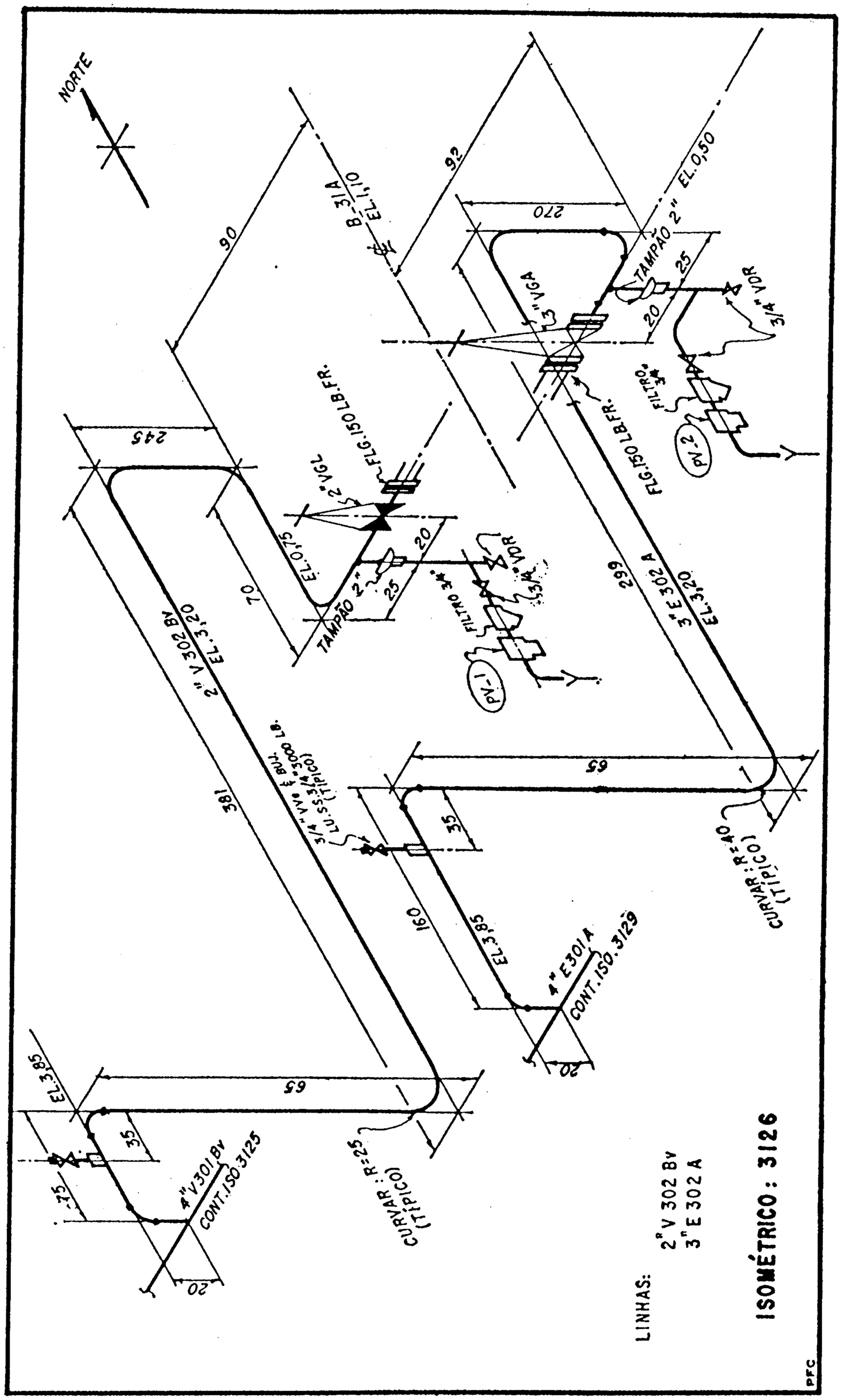

NORTE
2" V 302 BV
EL. 3,20
90
245
70
TAMPÃO 2"
EL. 0,75
2" VGL
FLG. 150 LB FR.
PV-1
3/4" VOR
FILTRO "Y"
3" E 302 A
EL. 3,20
299
92
270
TAMPÃO 2"
25
20
3/4" VOR
3" VGA
FLG. 150 LB FR.
FILTRO "Y"
PV-2
2" E EL. 0,50
381
3/4" VAP. & BUT. S.S. 3/4" 3000 LB.
(TIPICO)
65
35
160
EL. 3,85
4" E 301 A
CONT. ISO. 3129
CURVAR: R=40
(TIPICO)
20
EL. 3,85
75
4" V 301 BV
CONT. ISO. 3125
CURVAR: R=25
(TIPICO)
LINHAS:
2" V 302 BV
3" E 302 A
ISOMÉTRICO: 3126
PFC

Fig. 13.7(*b*)

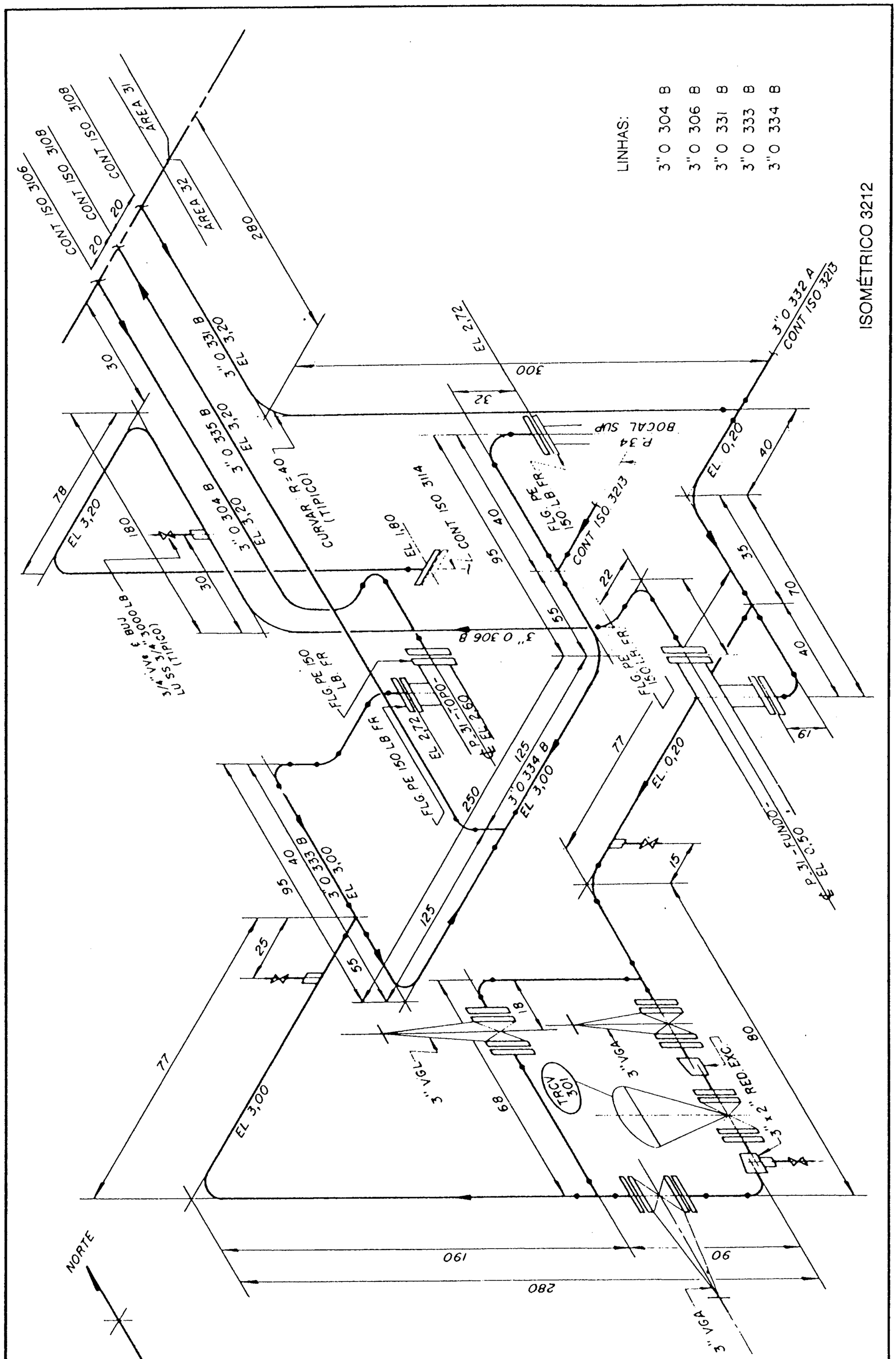
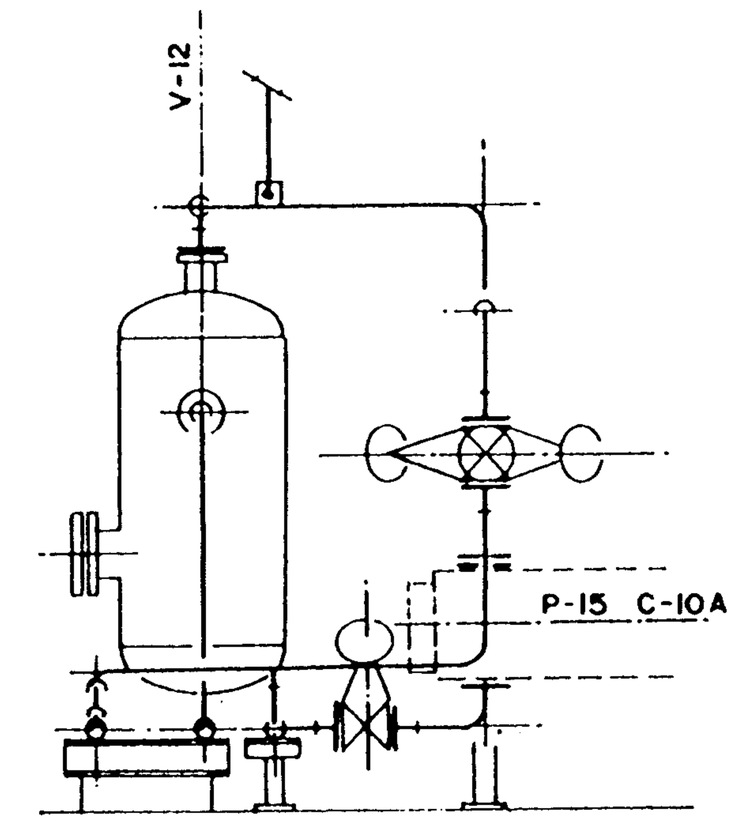
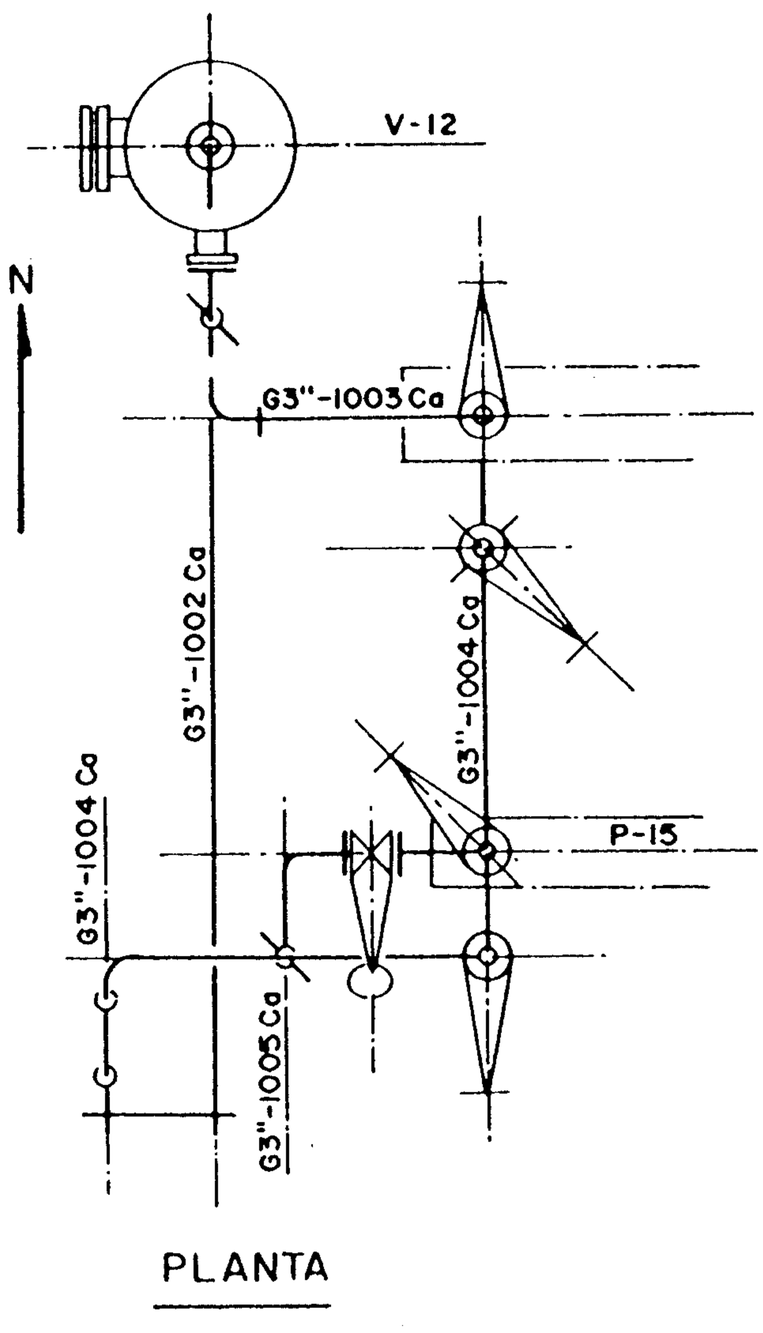

ISOMÉTRICO 3212
LINHAS:
3"O 304 B
3"O 306 B
3"O 331 B
3"O 333 B
3"O 334 B
NORTE

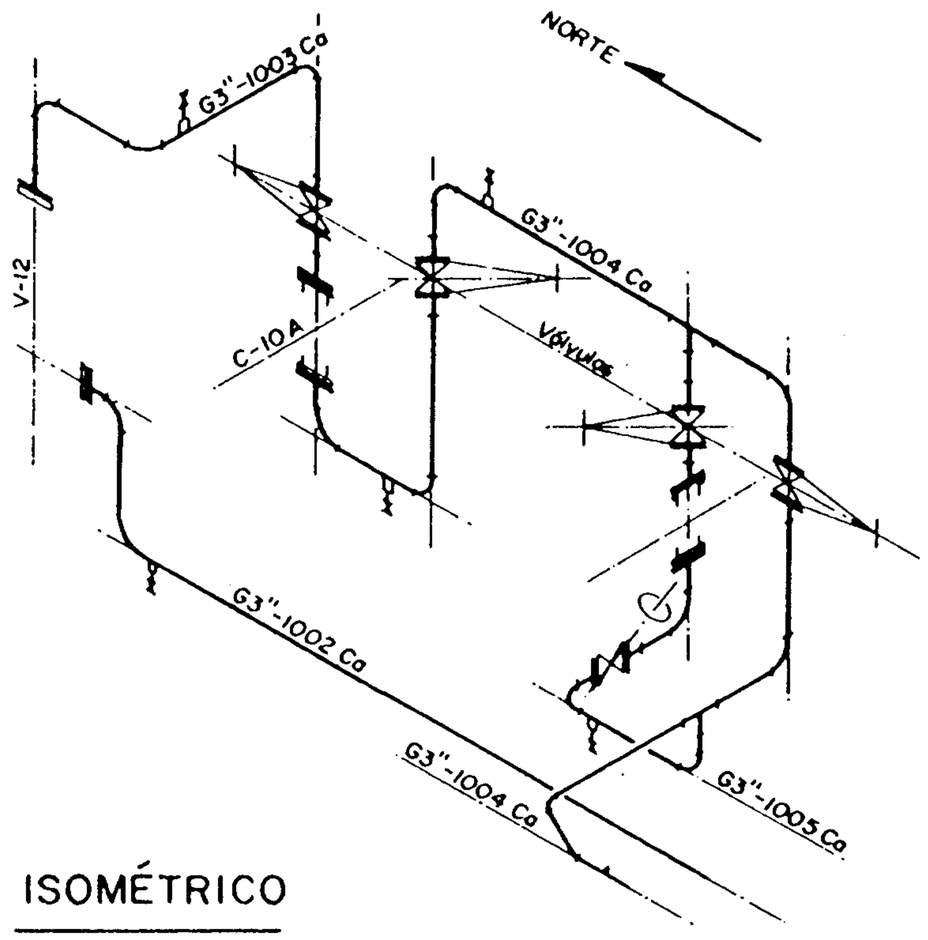
Fig. 13.7(c)



ELEVAÇÃO
OLHANDO PARA NORTE



PLANTA



ISOMÉTRICO

Fig. 13.8 O mesmo sistema de tubulações mostrado em três representações.

figurar obrigatoriamente e em detalhe todos os componentes das tubulações, individualmente, peça por peça, ainda que sejam peças pequenas ou pouco importantes, tais como válvulas de dreno e de respiro (com respectivas luvas, niples e bujões), luvas para instrumentos, tomadas para retirada de amostras etc. Os conjuntos formados pelas válvulas de controle e respectivas tubulações de contorno e válvulas de bloqueio e de regulagem também são mostrados peça por peça, como o exemplo da TRCV 301 na Fig. 13.7(*c*). Observe-se também a representação detalhada da instalação dos purgadores de vapor PV-1 e PV-2 na Fig. 13.7(*b*).

Os desenhos isométricos devem conter todas as cotas e dimensões necessárias para a fabricação e montagem das tubulações tais como: dimensões dos trechos retos de tubo, ângulos, raios de curvatura, elevações de todos os tubos, localização e orientação de todos os bocais de vasos e equipamentos, posição das hastes e volantes das válvulas etc. As elevações dos tubos, a menos que esteja ex-

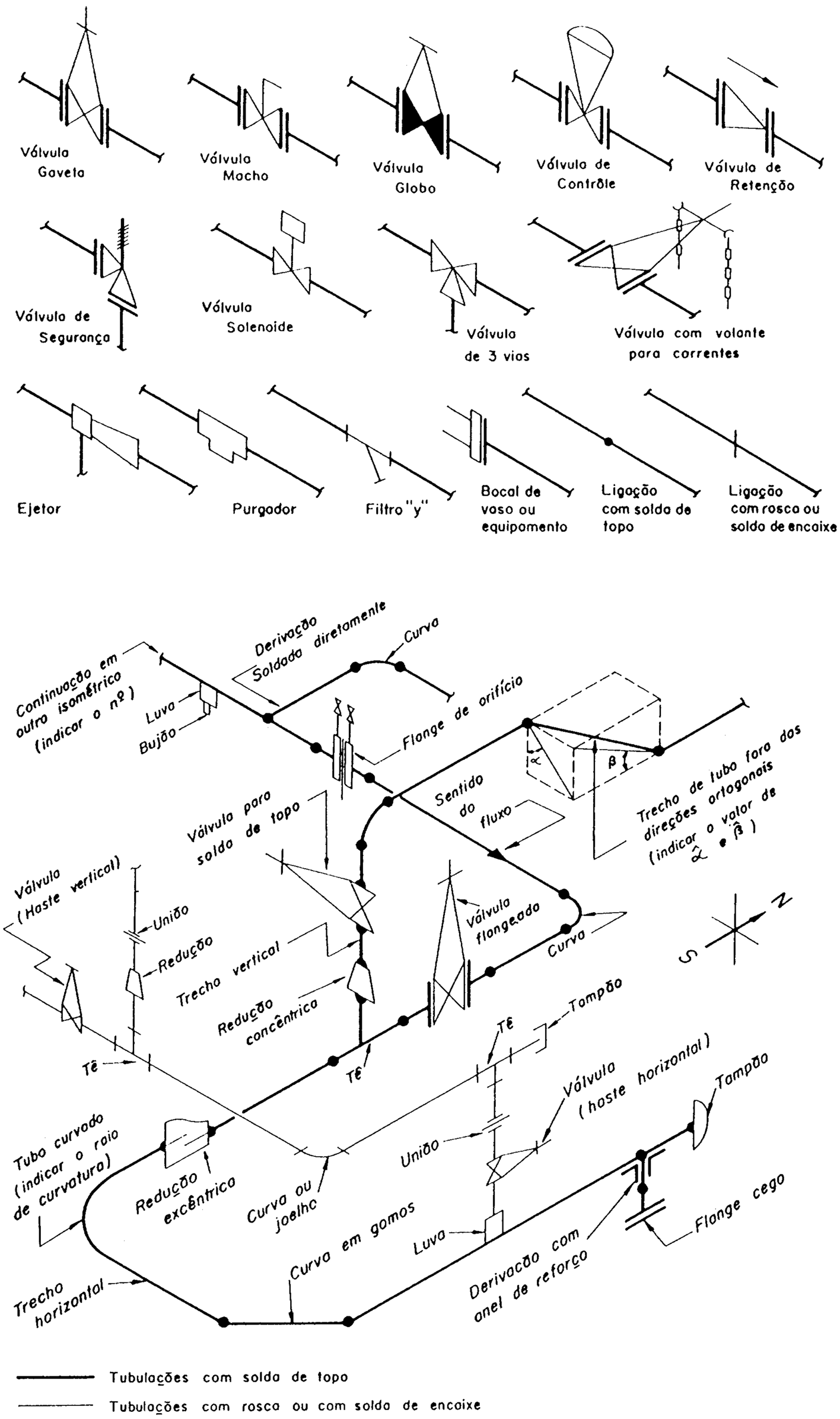


Fig. 13.9 Convenções de isométricos.

pressamente indicado em contrário, costumam ser referidas à linha de centro dos mesmos. Para esses desenhos também é usual colocar-se as cotas e dimensões em milímetros e as elevações em metros; não se devem empregar frações de milímetro, porque é uma precisão desnecessária e impossível de ser obedecida em uma montagem de tubulações. A espessura das juntas para flanges só é geralmente considerada quando for superior a 1,5 mm; para espessuras menores não é necessário prever nenhuma folga entre os flanges.

Qualquer tubo que passe de uma folha de isométrico para outra, é representado como interrompido, devendo haver sempre indicação do número da outra folha de isométrico na qual o mesmo continue, como se pode observar em diversos lugares nas Figs. 13.7.

Os diversos tipos usuais de válvulas e de acessórios, têm convenções especiais de desenho, que devem ser obedecidas, como mostra a Fig. 13.9.(*)

Deve-se fazer em cada folha de isométrico, a lista do material necessário para a construção das tubulações representadas na mesma. Cada folha de desenho deve ter também a relação das tubulações que figuram na referida folha, com indicação da temperatura e pressão de projeto, pressão de teste hidrostático, e do tipo de isolamento térmico e de sistema de aquecimento, se houver. Nos exemplos das Figs. 13.7 não estão mostradas essas listas.

É também prática corrente no desenho de isométricos mostrar, para cada tubulação, a necessidade ou não de tratamentos térmicos na montagem.

Em todos os desenhos deve haver sempre a indicação da orientação (Norte de projeto); de preferência a seta norte deve estar apontada para o canto direito superior do desenho.

A numeração dos desenhos isométricos deve ser feita em combinação com a numeração das plantas, de maneira que seja fácil identificar-se em que planta está representada uma linha que aparece em determinado isométrico e vice-versa. Por exemplo, à planta n.º 31 corresponderá a série de isométricos começada pelo n.º 3.101; à planta n.º 32 corresponderá a série começada pelo n.º 3.201, e assim por diante, como mostram os exemplos das Figs. 13.3 e 13.7.

Geralmente todas as tubulações desenhadas em um isométrico estão contidas em uma mesma planta. Todos os pontos em que as tubulações passam de uma folha de planta para outra, devem ser assinalados nos isométricos, com indicação dos números correspondentes das plantas, como também mostram os desenhos da Fig. 13.7.

É usual fazer-se, para cada planta de tubulação, uma lista-resumo contendo os números de todos os isométricos referentes a essa planta e os números das tubulações representadas em cada isométrico.

Não se fazem desenhos isométricos para tubulações subterrâneas, e geralmente também não se fazem para tubulações longas, fora de áreas de processamento, onde a maior parte dos trechos seja reta, como já vimos no Item 13.5.

Alguns projetistas costumam acrescentar nos desenhos isométricos os suportes de tubulação, indicados pelas suas posições cotadas e suas convenções. Embora essa prática não seja generalizada, a marcação dos suportes nos desenhos isométricos traz evidentes vantagens para a montagem.

13.8 Outros Desenhos de Tubulação

Além dos desenhos acima descritos, um projeto de tubulação industrial inclui outros desenhos, como os desenhos de detalhes típicos, desenhos de fabricação, desenhos de instalações subterrâneas, desenhos de suportes, desenhos de locação dos suportes e de cargas sobre os suportes etc., além de outros documentos, como veremos com mais detalhes no Item 14.2 no próximo capítulo.

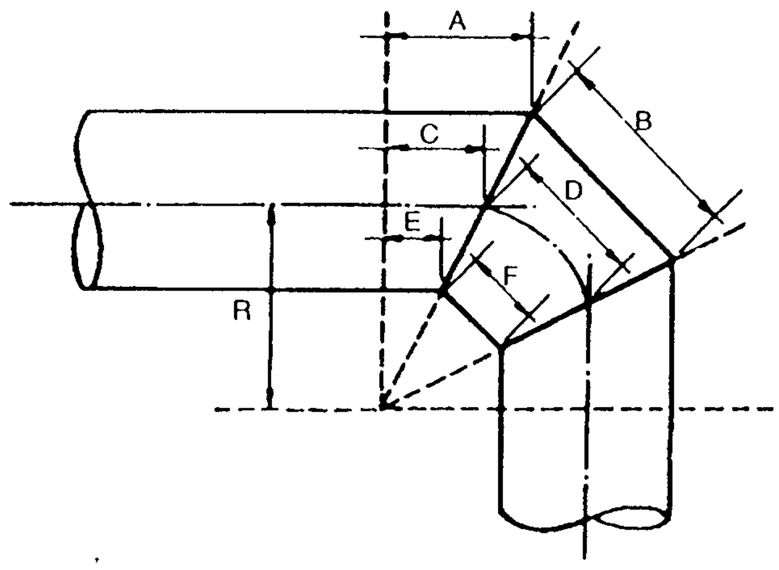
Os desenhos de detalhes típicos, como o próprio nome indica, são desenhos padrões mostrando alguns detalhes que se repetem várias vezes em um mesmo projeto. Esses desenhos têm a finalidade de padronizar esses detalhes, simplificando o projeto, e facilitando o desenho das plantas de tubulação, nas quais bastará a citação do número do desenho, cada vez que aparecer o respectivo detalhe. Costumam ser objeto de desenhos típicos, entre outros, os seguintes detalhes:

— Instalação de válvulas de controle.
— Instalação de purgadores de vapor.
— Drenos e respiros.
— Curvas em gomos.
— Derivações de tubos soldados e respectivos reforços.
— Sistemas de aquecimento de tubulações.
— Instalação de isolamento térmico.

Os desenhos de detalhes típicos devem conter todas as dimensões e demais informações necessárias para a fabricação ou montagem do referido detalhe.

Muitas firmas de projeto, bem como alguns grandes usuários de tubulações, têm coleções de desenhos de detalhes típicos feitos de uma vez por todas, e aplicáveis, sempre que possível, para qualquer projeto de tubulações. Essa prática, que é generalizada, traz uma considerável economia de trabalho e de tempo nos projetos e também na montagem de tubulações.

A Fig. 13.10 mostra um desenho de detalhe típico de uma curva em gomos.



DIÂM. NOM. (POL)	DIMENSÕES (mm)						
	A	B	C	D	E	F	R
8	172	343	127	254	81	162	305
10	214	428	157	314	101	203	381
12	256	512	188	376	122	244	458
14	294	589	220	440	146	293	534
16	336	673	252	504	168	336	610
18	370	757	279	559	189	379	689
20	414	841	317	730	210	420	762
24	504	1009	379	758	252	504	916
30	630	1261	472	944	315	630	1144

CURVA EM GOMOS – 90° COM DUAS SOLDAS

Fig. 13.10 Exemplo de desenho de detalhe típico.

(*) Para outras convenções de isométricos, veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já citado.

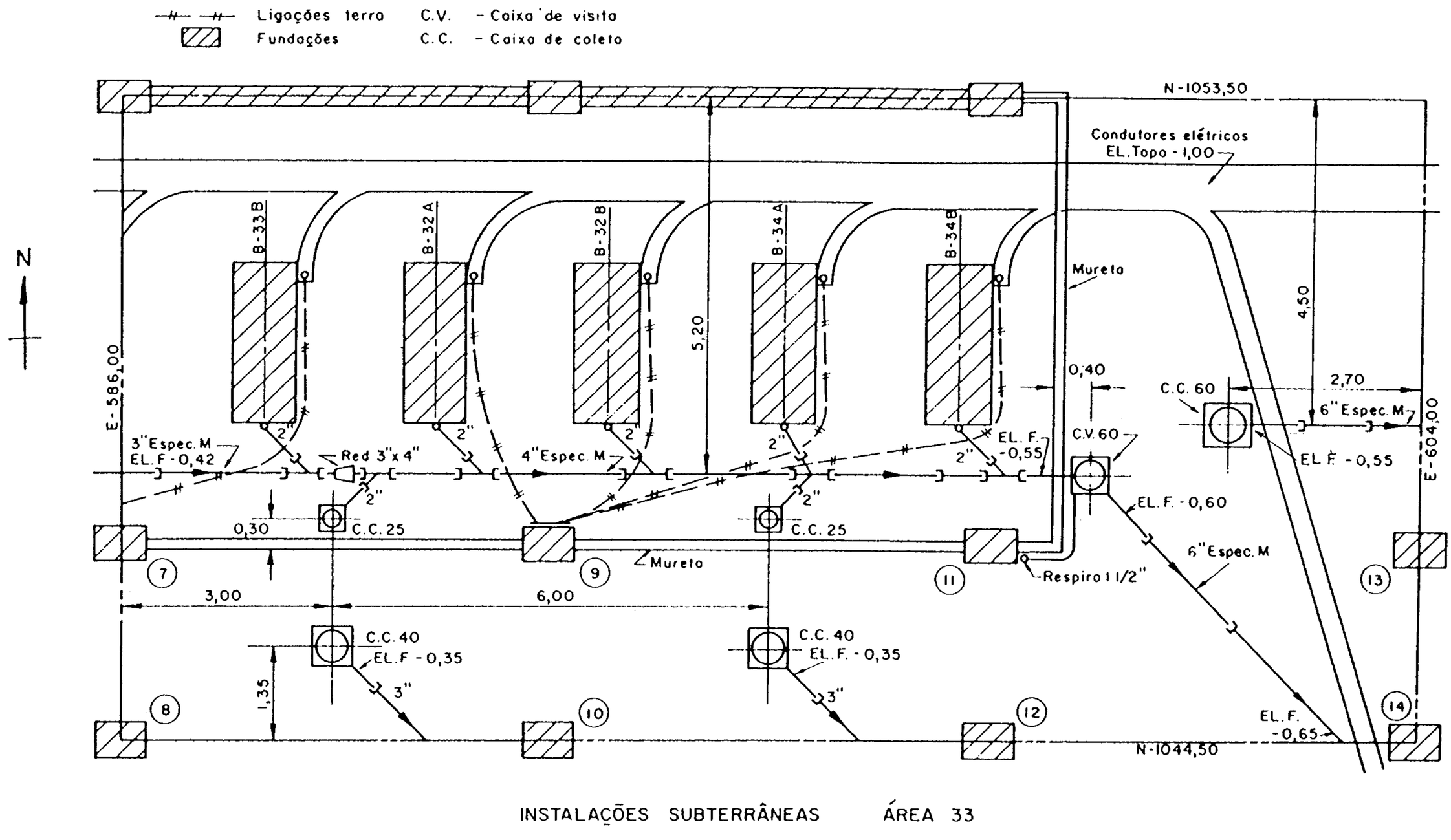
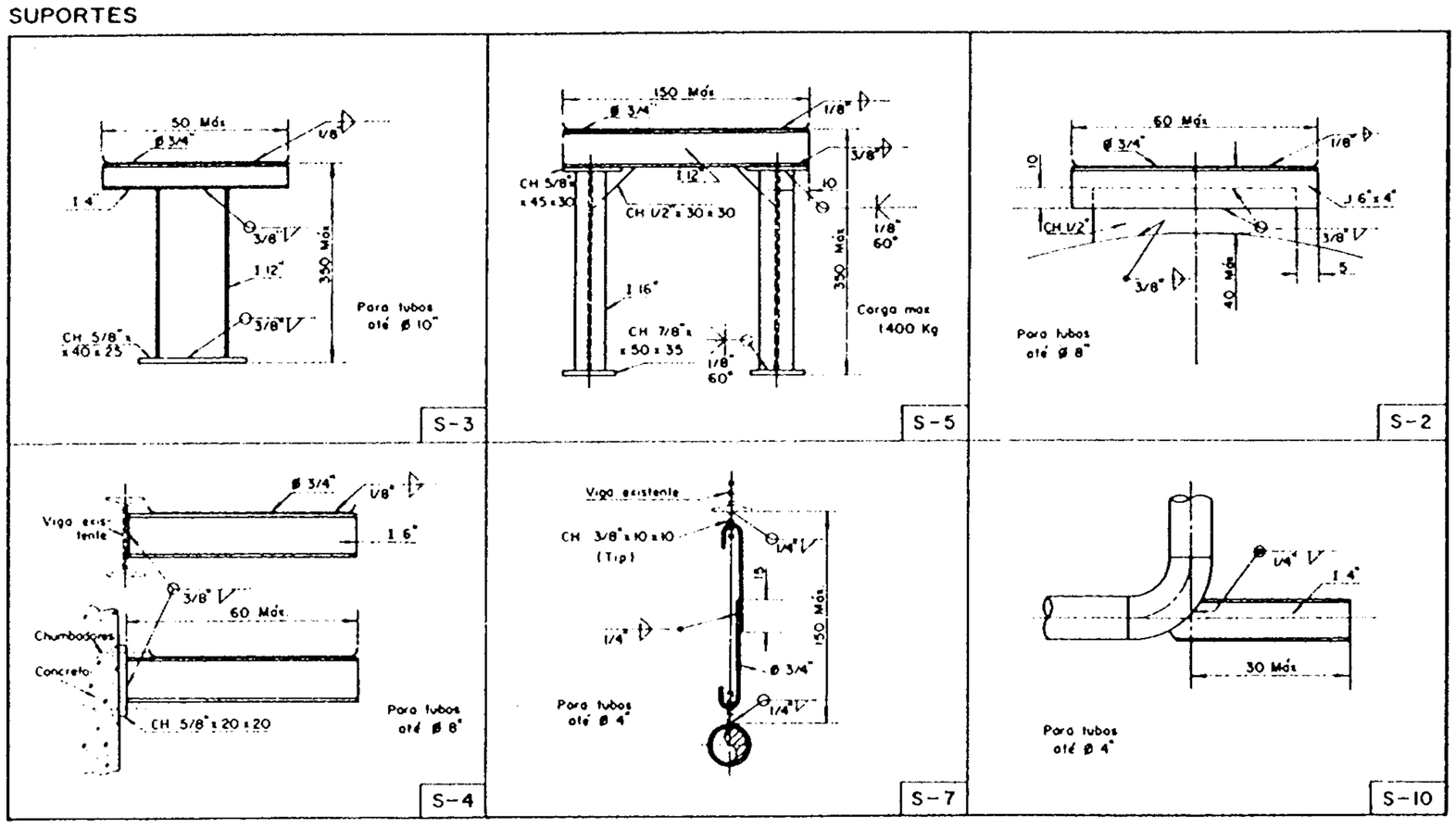


Fig. 13.11 Desenho de instalações subterrâneas.

SUPORTES



GUIAS

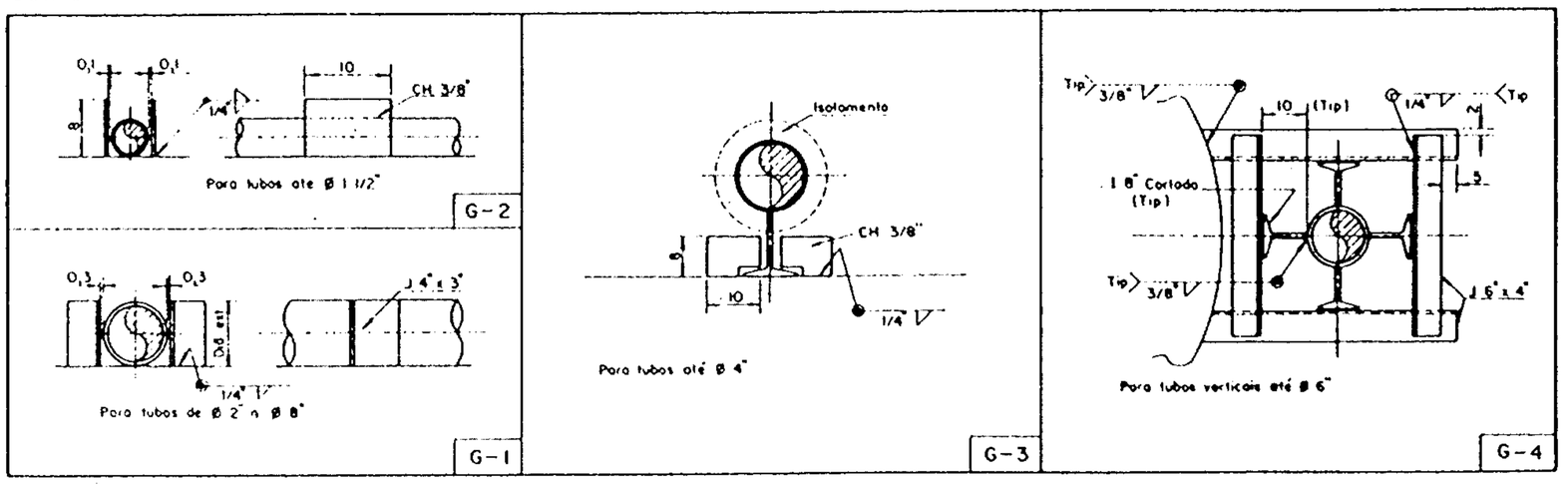


Fig. 13.12 Desenho de detalhes de suportes.

Os desenhos de fabricação são desenhos feitos em escala com todas as dimensões e detalhes, tais como indicação de todos os materiais (especificação completa), processos de fabricação e de conformação, detalhamento completo das soldas (procedimentos de soldagem, de inspeção e de reparo das soldas, geometria dos chanfros, tipos de eletrodos, seqüência de soldagem, tratamentos térmicos etc.), usinagens, tolerâncias, acabamentos etc.

Esses desenhos são feitos só quando necessário para a fabricação de peças especiais de tubulação.

Em instalações industriais faz-se, geralmente, para cada área, um único desenho mostrando todas as construções subterrâneas, incluindo as tubulações subterrâneas, as instalações elétricas e demais construções subterrâneas que possam exisitr na área (desenhos de "underground"), devendo-se mostrar também obrigatoriamente, o contorno de todas as fundações existentes. Esses desenhos são feitos em projeção horizontal, como as plantas de tubulação. Devem ser cuidadosamente indicadas as cotas de nível (elevações) de todas as tubulações e demais construções, para evitar interferências em altura. As tubulações situadas em trincheiras ou em canaletas, mesmo quando em cota de nível abaixo do piso, é usual que sejam representadas nas plantas de tubulação, e não nos desenhos de instalações subterrâneas. A Fig. 13.11 é um exemplo de um desenho de instalações subterrâneas e corresponde à área representada em planta na Fig. 13.3(*c*).

Os desenhos dos suportes são desenhos de fabricação, feitos em escala com todos os detalhes e dados necessários à fabricação dessas peças. Como já vimos, esses desenhos são geralmente padronizados pelas firmas de projeto e usuários de tubulações, sendo assim válidos para todos os projetos. A Fig. 13.12 mostra exemplos de desenhos dos suportes, correspondentes às plantas da Fig. 13.3. Fazem-se também, especificamente para cada projeto, desenhos dos suportes não-padronizados ou especiais, com as mesmas características e informações dos desenhos dos suportes padronizados.

As plantas de locação de suportes são desenhos feitos, às vezes, no caso de instalações muito grandes, quando for julgado conveniente mostrar a locação dos suportes em desenhos separados, e não somente nas plantas de tubulação. Essa prática é vantajosa para suportes de concreto, principalmente com fundações em estacas e localizados fora das áreas de processo. As coordenadas limites desses desenhos devem coincidir com as das plantas de tubulação ou abranger várias plantas adjacentes. São desenhos em escala, mostrando a localização cotada de cada suporte, designado por sua sigla de identificação.

Os desenhos de cargas sobre suportes são desenhos — ou tabelas — indicando para cada ponto de suporte (suportes propriamente ditos e qualquer outra estrutura aproveitada para suportar tubulações) todas as forças e momentos exercidos pelas tubulações (pesos, forças de atrito, forças de dilatação etc.), com seus valores, direção e sentido. Esses documentos são obrigatórios em qualquer projeto de tubulações, para permitir o projeto, cálculo e execução das estruturas e fundações dos suportes. Em muitos casos, os desenhos de locação dos suportes e de cargas sobre os suportes são fundidos em desenhos únicos.

13.9 Lista de Linhas e Outros Documentos

Além dos desenhos, fazem parte de um projeto de tubulação industrial vários outros documentos preparados em forma de listas ou tabelas, cujo número e informações contidas variam muito, conforme o vulto do projeto e a prática das organizações de projeto. São usuais, entretanto, as seguintes listas: Lista de linhas, listas de suportes, listas de suportes de molas, listas de purgadores e listas de material, como veremos com mais detalhe no Item 14.2.

As listas de linhas são documentos, em forma de tabela, onde estão relacionadas todas as tubulações de uma instalação industrial. Geralmente faz-se uma folha — ou uma série de folhas — para cada fluxograma, abrangendo portanto as tubulações mostradas em várias plantas e em numerosos isométricos.

As listas de linhas contêm usualmente, para cada tubulação, as informações abaixo relacionadas; no exemplo da Fig. 13.13, por motivo de simplificação, foram omitidas algumas dessas informações:

a) Número de ordem da tubulação.
b) Classe ou tipo do fluido circulante.
c) Diâmetro nominal.
d) Sigla indicativa da Especificação de Materiais (veja Item 8.13).

(Dados que constituem a própria identificação da tubulação.)

e) Extremidades da linha, isto é, de onde a linha vem e para onde a linha vai, no sentido normal do fluxo. (Indicação da sigla de identificação do equipamento ou da tubulação que sejam os extremos da tubulação considerada, ou indicação da passagem da tubulação para outra folha de desenho.)
f) Velocidade e/ou vazão do fluido.
g) Perda de carga unitária.
h) Temperatura e pressão de operação.
i) Temperatura e pressão de projeto.
j) Pressão de teste hidrostático.
l) Necessidade ou não de isolamento térmico; tipo de isolamento.
m) Necessidade ou não de aquecimento da linha.
n) Necessidade ou não de limpeza com vapor (indicar pressão e temperatura do vapor).

As listas de linhas são preparadas inicialmente pela equipe de processo, que preenche geralmente as informações *b*), *c*), *e*), *g*), *h*), *l*), *m*), do quadro acima; as demais informações são completadas pela equipe de projeto mecânico.

Como se pode observar, a lista de linhas da Fig. 13.13

UNIDADE "3"

LISTA DE LINHAS

	LINHAS				EXTREMIDADES		TEMP. °C		PRESSÃO kg/cm²		
DIÂM.	FLUIDO	Nº ORDEM	ESP. MAT.	ISOL	DE	PARA	OPER.	PROJ.	OPER.	PROJ.	TESTE
4"	HIDROCARBONETO	301	Ba	N	LIM. UNIDADE	V-33	40	150	6	8	12
4"	"	302	BA	N	V.33	B. 31 A	40	150	6	8	12
4"	"	303	Ba	N	0302B	B. 31 B	40	150	10	12	18
3"	"	304	Ba	N	B. 31 A	P-31	40	150	10	12	18
3"	"	305	Ba	N	B. 31 B	0304B	40	150	10	12	18
3"	"	306	Ba	S	P. 31	T-31	66	150	10	12	18
3"	"	307	Ba	S	T-31	P-32	66	150	10	12	18
3"	"	308	Ba	S	P-32	T-31	75	150	10	12	18
4"	"	309	Ba	N	T-31	P-33	55	150	10	12	18
4"	"	310	Ba	N	P.33	V-31	40	150	10	12	18
4"	"	311	Ba	N	V-31	B. 32 A	40	150	10	12	18
4"	"	312	Ba	N	0311B	B. 32 B	40	150	10	12	18
4"	"	313	Ba	N	0311B	B. 33 A	40	150	10	12	18
4"	"	314	Ba	N	0311B	B. 33 B	40	150	10	12	18
3"	"	315	Ba	N	B. 32 A	T. 31	40	150	10	12	18
3"	"	316	Ba	N	B. 32 B	0315B	40	150	10	12	18
3"	"	317	Ba	N	B. 33 A	P-34	40	150	14,5	17	25,5
3"	"	318	Ba	N	B. 33 B	0317B	40	150	14,5	17	25,5
3"	"	319	Ba	N	P. 34	T-32	60	150	14,5	17	25,5
3"	"	320	Ba	S	T. 32	P-35	60	150	14,5	17	25,5
3"	"	321	Ba	S	P. 35	T-32	70	150	14,5	17	25,5
4"	"	322	Ba	N	T. 32	P-36	50	150	14,5	17	25,5
4"	"	323	Ba	N	P. 36	V-32	35	150	14	17	25,5
4"	"	324	Ba	N	V. 32	B. 34 A	35	150	14	17	25,5
4"	"	325	Ba	N	0324B	B. 34 B	35	150	14	17	25,5
3"	"	326	Ba	N	0324B	LIM. UNIDADE	35	150	14,5	17	25,5
3"	"	327	Ba	N	B. 34 A	T-32	35	150	14,5	17	25,5
3"	"	328	Ba	N	B. 34 B	0327B	35	150	14,5	17	25,5
3"	"	329	Ba	N	P. 32	LIM. UNIDADE	66	150	14	17	25,5
3"	"	330	Ba	N	P. 35	0 329 B	60	150	14	17	25,5
3"	"	331	Ba	S	LIM. UNIDADE	P-31	80	150	8	10	15
3"	"	332	Ba	S	0331B	P-34	80	150	8	10	15
3"	"	333	Ba	N	P. 31	LIM. UNIDADE	70	150	8	10	15
3"	"	334	Ba	N	P. 34	0333B	70	150	8	10	15
2"	"	335	Ba	N	V. 32	LIM. UNIDADE	35	150	14,5	17	25,5
2"	"	336	Ba	N	V. 31	0335B	40	150	10	12	18
4"	VAPOR 10 kg/cm²	301	Bv	S	LIM. UNIDADE	V 306 Bv	180	180	10	10	15
2"	"	302	Bv	S	V 301 Bv	B. 31 A	180	180	10	10	15
2"	"	303	Bv	S	V 301 Bv	B. 32 A	180	180	10	10	15
2"	"	304	Bv	S	V 301 Bv	B. 33 A	180	180	10	10	15
2"	"	305	Bv	S	V 301 Bv	P-32	180	180	10	10	15
2"	"	306	Bv	S	V 301 Bv	B. 34 A	180	180	10	10	15
2"	CONDENSADO	301	Cd	S	P-35	LIM. UNIDADE	100	150	1,5	1,5	2,2
1½	"	302	Cd	S	P-32	C 301 C	100	150	1,5	1,5	1,5
4"	VAPOR 3 kg/cm	301	Ae	S	E 306 A	LIM. UNIDADE	135	150	3	3	4,5
3"	"	302	Ae	S	B. 31 A	E 301 A	135	150	3	3	4,5
3"	"	303	Ae	S	B. 32 A	E 301 A	135	150	3	3	4,5
3"	"	304	Ae	S	B. 33 A	E 301 A	135	150	3	3	4,5
3"	"	305	Ae	S	B. 34 A	E 301 A	135	150	3	3	4,5
3"	"	306	Ae	S	E 301 A	P-35	135	150	3	3	4,5
6"	ÁGUA DE REFRIG.	301	Cd	N	LIM. UNIDADE	R 305 C	25	60	5	6	9
4"	"	302	Cd	N	R 301 C	P-33	25	60	5	6	9
4"	"	303	Cd	N	P-33	R 308 C	40	60	5	6	9
4"	"	304	Cd	N	R 302 C	R 303 C	25	60	5	6	9
4"	"	305	Cd	N	R 301 C	P-36	25	60	5	6	9
4"	"	306	Cd	N	P-36	R 308 C	40	60	5	6	9
4"	"	307	Cd	N	R 305 C	R 306 C	25	60	5	6	9
6"	"	308	Cd	N	R 306 C	LIM. UNIDADE	40	60	5	6	9
3"	TOCHA	301	Ba	N	V. 33	LIM. UNIDADE	40	150	6	6	9
2"	"	302	Ba	N	PSV. 301	T 301 B	40	150	1	1	1,5

PFC

Fig. 13.13 Lista de linhas.

corresponde ao fluxograma de detalhamento da Fig. 13.1 e às plantas das Figs. 13.3(*a*), (*b*), (*c*). (*d*).

As listas de suportes, listas de suportes de molas, listas de purgadores e listas de material são usualmente feitas uma para cada folha de planta de tubulação. Nessas listas devem figurar o número da planta de referência e mais as seguintes informações:

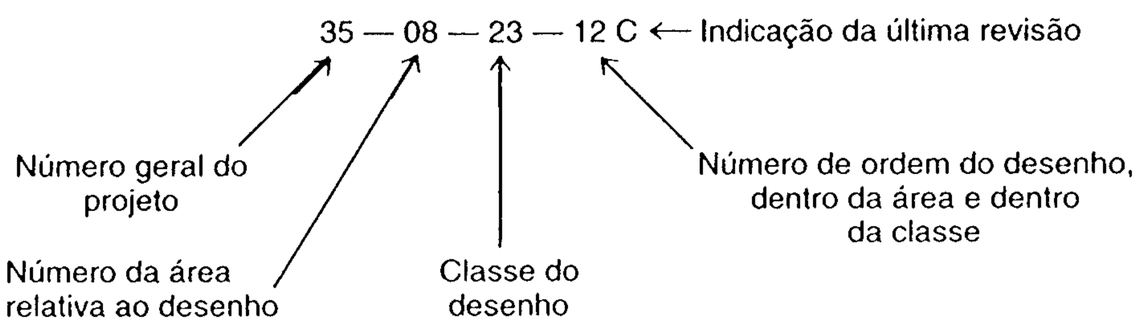
— Listas de suportes: Para cada tipo de suporte: Quantidade, tipo (sigla convencional indicativa), e número do desenho de detalhe típico correspondente.
— Listas de suportes de molas: Para cada suporte de mola: Tipo, referência e nome do fabricante e modelo (se for o caso), identificação da tubulação e número do isométrico em que está localizado, dados para a encomenda e calibragem (veja Item 11.8), e número do desenho de detalhe de instalação.
— Listas de purgadores: Para cada purgador: Tipo, modelo, vazão, pressão diferencial, identificação da tubulação e número do isométrico onde está localizado, número do desenho de detalhe típico de instalação. É comum acrescentar-se também nome do fabricante recomendado e referência do modelo.
— Listas de material: Para cada tipo específico de material: Quantidade, diâmetro nominal, outras dimensões (se for o caso), descrição completa, Especificação de Material, referência às normas.

13.10 Observação sobre Prática de Desenhos

1. *Norma de desenho técnico* — Os desenhos de tubulação assim como quaisquer outros desenhos de engenharia devem obedecer às normas de desenho técnico, em particular à norma NB-8, da ABNT, que rege esse assunto aqui no Brasil. Essa norma estabelece dimensões normalizadas de papel, dimensões e tipos de letras e algarismos, localização e dizeres da legenda, disposição geral dos desenhos etc.

2. *Numeração dos desenhos* — Em cada projeto deve ser adotado um critério de numeração dos desenhos que servirá para organizar o arquivamento, facilitar a consulta e estabelecer a interdependência entre cada desenho e os demais desenhos e documentos do projeto.

A prática de várias organizações de projeto mostrou que um sistema satisfatório de numeração consiste em dar a cada desenho um número composto de cinco parcelas cujo significado está mostrado no seguinte exemplo:



O número geral do projeto é um número que designa globalmente o projeto todo, e que deve figurar em todos os documentos de que se compõe o projeto. A numeração das áreas é a identificação de cada área, de acordo com a subdivisão estabelecida na planta de arranjo geral, como já vimos no Item 9.4.

As classes de desenhos são estabelecidos de acordo com a natureza do desenho. Geralmente as organizações de projeto — bem como alguns usuários importantes de tubulações e de equipamentos de processo — têm uma sistemática de numeração de classes de desenhos feitas de uma vez por todas, e válidas para qualquer projeto. Teremos, por exemplo, como classes distintas de desenhos, os desenhos de tubulação, de suportes de tubulação, as plantas de arranjo, os desenhos de estruturas metálicas, estruturas de concreto, fundações, vasos, tanques e outros equipamentos de caldeiraria, máquinas, eletricidade, instrumentação etc.

Algumas organizações de projeto incluem também, no número do desenho, um número ou sigla indicativo do tamanho do papel em que o desenho está feito; essa indicação tem por finalidade facilitar o arquivamento.

O sistema adotado de numeração de desenhos deve ser estendido não só a todos os desenhos do projeto, como também aos demais documentos que fazem parte do projeto, tais como listas de materiais, especificações, folhas de dados de tubulações, listas diversas etc., como relacionado no Item 14.2.

3. *Verificação dos desenhos* (*check*) — Todos os desenhos, listas de materiais, especificações e demais documentos que constituem o projeto completo, antes de serem emitidos devem ser cuidadosamente verificados um por um. É muito importante que a verificação seja feita por outra pessoa sem ser a que fez o desenho ou documento, para evitar a repetição de erros condicionados. O verificador *deve obrigatoriamente conferir tudo* o que existe no desenho; entre outros pontos, devem então ser verificados:

— Conformidade com o fluxograma.
— Conformidade com as especificações.
— Traçado: flexibilidade e conformidade com as normas e detalhes de projeto.
— Todas as coordenadas, dimensões, cotas e elevações.
— Interferências, folgas e distâncias.
— Localização de válvulas, equipamentos e acessórios especiais.
— Vãos entre suportes.
— Especificações e listas de materiais.
— Todas as legendas dos desenhos.
— Todos os cálculos que tenham sido feitos.

Tudo enfim que aparece em cada desenho ou em qualquer outro documento, inclusive título, numeração etc., deve ser verificado, assim como devem ser cuidadosamente confrontados os desenhos, uns com os outros, para verificação recíproca.

Para facilitar a verificação e evitar a possibilidade de esquecimentos, muitos projetistas adotam códigos de co-

res para a verificação: Tira-se uma cópia de cada desenho ou documento, e assinala-se na cópia com lápis de uma cor o que estiver certo, e com lápis de outra cor o que estiver errado, anotando-se a correção a fazer. Terminada a verificação, todas as indicações contidas no desenho devem estar assinaladas com uma das duas cores: o que não estiver assinalado foi esquecido de verificar.

Os desenhos devem ser emitidos de maneira que se possa construir exatamente como mostrado e sem erros. Esse ponto é importante por causa dos prejuízos e atrasos que muitas vezes resultam para a construção e para a operação, em conseqüência de um único erro em qualquer desenho ou outro documento do projeto.

4. *Revisões dos desenhos* — Todos os desenhos e outros documentos do projeto de tubulações — como aliás todo e qualquer documento de engenharia — são sempre documentos dinâmicos, sujeitos, durante a sua vida, a várias revisões para acréscimos, modificações, correções etc. Essas revisões acontecem não só depois do projeto pronto ou da construção concluída, como também desde as fases iniciais do projeto e da construção, sempre que houver necessidade de modificar algum documento, inclusive como conseqüência de alguma modificação introduzida em outro documento a ele relacionado. Por esse motivo, para evitar erros e prejuízos, é muito importante que sejam sempre utilizados documentos atualizados, isto é, em sua última revisão.

5. *Maquetas e modelos reduzidos* — No projeto de instalações muito complexas, é de grande auxílio a confecção de maquetas ou de modelos reduzidos, principalmente quando se tenham tubulações inclinadas ou em várias elevações, cuja visualização tridimensional é às vezes bem difícil apenas com os desenhos.

As maquetas e modelos reduzidos além de serem, como já vimos, um importante auxiliar no estudo das plantas de arranjo geral, servem também para evitar interferência no traçado das tubulações, facilitar o projeto e localização dos suportes, bem como das escadas e plataformas de acesso. Esses elementos facilitam ainda o estudo da seqüência de montagem e ajudam a resolver os problemas de movimentação de pesos.

As maquetas e modelos são, entretanto, dispendiosos, ocupam muito espaço, e evidentemente só têm utilidade quando são feitos rigorosamente em escala.

6. *Dimensões usuais de papel e escalas usuais de desenho:*

	Papel	Escala
Fluxogramas	A0, A1	—
Plantas de arranjo geral	A0, A1	1:1.000 a 1:5.000
Plantas de arranjo de unidades	A1, A2	1:250 a 1:500
Plantas de tubulação em áreas de processo	A1, A2	1:50 e 1:25
Idem, fora de áreas de processo	A0, A1	1:100 a 1:500
Desenhos de detalhes de tubulações e de suportes	A3, A4	1:10 e 1:25
Desenhos isométricos	A3, A4	—

14

PROJETO DE TUBULAÇÕES

14.1 PROJETO DE TUBULAÇÕES

O projeto de uma rede ou de um sistema de tubulações pode ser um projeto isolado, ou pode ser, como é mais freqüente, uma parte de um projeto integrado de uma instalação completa, que inclui também projetos de várias outras especialidades de engenharia. No caso geral, em que se tem um projeto global de uma instalação industrial, principalmente tratando-se de indústrias de processo, é prática corrente subdividir-se esse projeto nos seguintes projetos parciais:

— Projeto de processo: Projeto básico de funcionamento da instalação, incluindo-se seleção do processamento químico, estudo dos balanços de massa e de energia, seleção dos tipos e dimensionamento básico dos equipamentos principais, determinação dos diâmetros das tubulações de processo.

— Projeto de utilidades: O projeto de utilidades é o projeto de processo (como descrito acima) dos diversos sistemas de utilidades: geração de vapor, eletricidade, ar comprimido, tratamento e distribuição de água, tratamento e destinação de efluentes etc.

— Projeto de construção civil, que compreende:

- Terraplenagem, arranjo geral, arruamento, vias de acesso, drenagem pluvial, urbanização.
- Fundações.
- Prédios. estruturas (metálicas e de concreto), arquitetura.

— Projeto de tubulações.

— Projeto de caldeiraria: Projeto mecânico e especificação de vasos de pressão, tanques, torres, reatores, fornos, caldeiras, trocadores de calor e outros equipamentos de cadeiraria.

— Projeto de máquinas: Seleção e especificação de bombas, compressores, turbinas e outras máquinas.

— Projeto de eletricidade: Projeto de toda rede e demais instalações e equipamentos elétricos.

— Projeto de instrumentação: Projeto de todos os sistemas de medição e controle, seleção e especificação dos respectivos equipamentos.

O projeto de tubulações é geralmente uma parte importante do projeto global de uma instalação industrial; nas indústrias de processo, o projeto de tubulações chega a atingir 45 a 60% do total de homens-hora gastos em todo projeto global. A rede de tubulações abrange também nesse caso, toda ou quase toda área do terreno da indústria.

Como qualquer outro projeto de engenharia, o projeto de tubulação inclui sempre dois tipos de trabalhos:

— Trabalhos de traçado, detalhamento e desenho.
— Trabalhos de cálculo e de dimensionamento.

Nos Caps. 9 a 13 já vimos uma série de regras e recomendações referentes ao traçado, detalhamento e desenho das tubulações e de seus suportes e acessórios; no livro "Tubulações Industriais – Cálculo", já aqui citado, estão os cálculos de tubulação.

Em um projeto de tubulações costumam ser sempre feitos os seguintes cálculos:

— Dimensionamento do diâmetro de cada tubulação.
— Cálculo da flexibilidade para verificar se cada tubulação é capaz de absorver, por meio de flexões e torções nos seus diversos lados, o efeito combinado das dilatações e dos movimentos de pontos extremos da tubulação. Esses cálculos podem ser dispensados em alguns casos excepcionais, como está explicado no Cap. 5 do livro acima citado.
— Cálculo dos pesos, forças de atrito, esforços de ancoragem, reações das juntas de expansão, e demais cargas que a rede de tubulações esteja fazendo ou possa fazer sobre cada suporte.
— Cálculo da espessura de parede dos tubos.
— Cálculo dos vãos máximos entre suportes.

Em alguns projetos poderão ser necessários, entre outros, mais os seguintes cálculos:

— Dimensionamento de componentes especiais de tubulação.
— Cálculo das quantidades de condensado a eliminar e dimensionamento dos purgadores de vapor.

— Cálculo das espessuras de isolamento térmico.
— Cálculo dos sistemas de aquecimento.

Desses cálculos, alguns dependem do traçado e detalhamento das tubulações e por isso, têm de ser feitos obrigatoriamente para cada tubulação individual, e portanto, em cada projeto. Outros cálculos, pelo contrário, independem do traçado e detalhamento das tubulações, e, por esse motivo, podem ser feitos previamente, para vários casos típicos sendo os resultados válidos, de uma vez por todas, para todos os projetos futuros: Esse é o procedimento usual das organizações de projeto e de usuários de tubulações, que conseguem assim grande economia de tempo e de trabalho.

Os cálculos que dependem do traçado e detalhamento das tubulações são os seguintes:

— Cálculo do diâmetro, feito para cada tubulação, basicamente em função das perdas de carga, que, por sua vez, dependem do comprimento, configuração geométrica, tipo e quantidade de acidentes da tubulação, bem como da vazão e viscosidade do fluido circulante, e da rugosidade das paredes da tubulação.
— Cálculo da flexibilidade, feito também para cada tubulação, em função do comprimento e configuração da tubulação, da temperatura, e da resistência mecânica do material.
— Cálculo dos pesos, feito para ponto de suporte, em função dos pesos de todas as tubulações e demais cargas atuantes.

O cálculo das espessuras de parede, dos vãos entre suportes e das espessuras de isolamento não depende do traçado e detalhamento das tubulações. A espessura de parede, por exemplo, é calculada somente em função do diâmetro, pressão do fluido, e tensão admissível do material, podendo assim a espessura ser calculada previamente para várias combinações de diâmetros, pressões e tensões admissíveis. O mesmo acontece com os vãos entre os suportes e as espessuras de isolamento, que também podem ser calculados previamente. Por isso, muitas organizações de projeto e usuários de tubulações possuem coleções de "Especificações de Material de Tubulação" (veja Item 8.13), onde constam espessuras já calculadas, bem como tabelas de vãos entre suportes (veja Fig. 10.8) e de espessuras de isolamento (veja Tabela 16.5). Em resumo, na prática de projetos industriais, esses cálculos são feitos em cada projeto somente no caso, relativamente raro, de tubulações que não se enquadrem em nenhum dos padrões existentes.

Nas organizações dedicadas a projetos de engenharia é usual dividir-se o trabalho total de um projeto de tubulações entre duas equipes, denominadas de equipe de projeto de processo e equipe de projeto mecânico. A tarefa de ambas as equipes inclui tanto trabalhos de detalhamento e desenho, como também de cálculo, como veremos a seguir.

A equipe de projeto de processo considera a tubulação como sendo um elemento hidráulico, destinado a escoar ou transportar fluidos, enquanto que a equipe de projeto mecânico considera a tubulação como sendo um elemento estrutural, sujeito a diversas cargas, e transmitindo outras tantas aos suportes, equipamentos e fundações.

Em resumo podemos dizer que para cada tubulação (bem como para o conjunto da instalação), o problema geral do projeto consiste em atingir-se, o mais possível, as seguintes metas:

— Conduzir uma determinada vazão de fluido, entre dois pontos, com uma perda de carga aceitável.
— Conseguir um traçado e detalhamento tais que garantam uma flexibilidade suficiente, de forma que, em qualquer condição de operação, as forças e momentos transmitidos aos pontos fixos, bem como as tensões internas na tubulação, estejam dentro dos limites admissíveis.
— Garantir uma operação segura e confiável, pelo menos dentro da vida útil esperada.
— Permitir que todos os trabalhos previsíveis de construção, montagem e manutenção possam ser feitos com o máximo de facilidade e de segurança.
— Resultar no mínimo custo de construção, de operação e de manutenção.

O responsável pelo projeto de tubulações — assim como de qualquer outro projeto de engenharia —, deve ter sempre em vista o fato de que o seu projeto e a sua obra, vão ser realizados e utilizados por pessoas humanas, e que têm, em última análise, a finalidade de atender, o melhor possível, a uma determinada necessidade social.

14.2 Documentos de que se Compõe um Projeto de Tubulações

Um projeto de tubulações compõe-se, no caso mais geral, dos documentos abaixo relacionados, sendo que em alguns casos especiais poderão ser necessários outros documentos.

a) Fluxogramas de processo: como descrito no Item 13.3.

b) Fluxogramas de detalhamento: como descrito no Item 13.3.

c) Lista de linhas: como descrito no Item 13.9.

d) Plantas de tubulação: como descrito nos Itens 13.4 a 13.6.

e) Desenhos isométricos: como descrito no Item 13.7.

f) Listas de isométricos: listas relacionando, para cada planta, todos os isométricos e respectivas tubulações representadas em cada um.

g) Desenhos de detalhes de tubulação: como descrito no Item 13.8.

h) Desenhos de suportes de tubulação (suportes padronizados e especiais): como descrito no Item 13.8.

i) Plantas de locação dos suportes; como descrito no Item 13.8.

j) Desenhos ou diagramas de cargas sobre os suportes; como descrito no Item 13.8 e no livro "Tubulações Industriais — Cálculo".

k) Desenhos de instalações subterrâneas: nesses desenhos cóstumam também estar incluídas, além das tubulações subterrâneas, as instalações elétricas subterrâneas e instalações de esgoto e drenagem, como descrito no Item 13.8.

l) Especificação geral de tubulação: texto contendo critérios, exigências e recomendações relativas a projeto, montagem, testes e operação, como será visto no Item 14.3, a seguir.

m) Especificações de tubulação: textos com critérios, exigências e recomendações específicas que não se enquadrem na especificação geral, como será visto no Item 14.3, a seguir.

n) Especificações de Material de Tubulação: textos ou tabelas detalhando todos os materiais empregados em tubulações para cada serviço, como descrito nos Itens 8.13 e 8.14.

o) Listas de material de tubulação: como descrito no Item 13.9.

p) Listas de linhas com isolamento térmico e listas de linhas com aquecimento: relações contendo, para cada linha: identificação da linha, tipo, material e espessura do isolamento, tipo de aquecimento, detalhes de montagem do isolamento e do aquecimento, e número do isométrico; devem conter também a totalização geral do material necessário.

q) Listas de purgadores de vapor: como descrito no Item 13.9.

r) Listas de suportes (suportes padronizados e especiais, inclusive suportes de molas): como descrito no Item 13.9.

s) Listas de plataformas: relações resumindo a quantidade necessária de plataformas (para manobra de válvulas, travessia de linhas e outros fins) por tipo e por área, e dando indicações de dimensões e de desenhos de detalhes ou de referência.

t) Requisições de Material: documentos para compra ou encomenda de todos os materiais necessários constantes das listas referidas em *o), p), q), r)* e *s*).

u) Memórias de cálculos: textos contendo cálculos e explicações sucintas necessárias, relativos aos cálculos referidos no Item 14.1.

v) Relação dos documentos do projeto: documento-índice, relacionando de modo resumido todos os desenhos e demais documentos que compõem o projeto completo. Em projetos grandes, esse relacionamento costuma ser feito subdividindo-se por unidade ou por área. Em qualquer caso, deve constar para cada documento: título do documento, número do documento, indicação da última revisão feita, data da emissão.

Dos documentos acima relacionados, são obrigatoriamente feitos e entregues a quem solicitou o projeto, os referidos em *a), b), c), d), h), j), l), n), o), t)* e *v)*. Os desenhos isométricos (*e*) podem ser dispensados para tubulações simples, como já vimos no Item 13.7. As listas de isométricos (*f*) só precisam ser feitas quando o número desses desenhos for muito grande. Os desenhos de detalhes de tubulação (*g*) podem ser necessários quando há detalhes a representar, ou quando os detalhes não podem ser convenientemente desenhados nas próprias plantas de tubulação. As plantas de locação de suportes (*i*) podem ser dispensadas em muitos projetos, para os quais as plantas de tubulação preenchem as duas finalidades. Os desenhos de instalações subterrâneas (*k*) só precisam ser feitos para projetos em que existam tais instalações. As especificações de tubulação (*m*) só são necessárias em projetos grandes, para os quais uma única especificação geral ficaria muito extensa. As listas de linhas com isolamento e com aquecimento (*p*) e as listas de purgadores (*q*) são dispensáveis em projetos pequenos, e também, evidentemente, quando tais materiais não existam. As listas de suportes (*r*) e de plataformas (*s*) só são justificáveis em projetos de vulto. As memórias de cálculo (*u*), embora sempre sejam feitas, em geral só são entregues juntamente com o projeto quando expressamente pedido pelo cliente.

Os desenhos padrão de detalhes de tubulação (*g*), os desenhos de suportes padronizados (*h*) e as Especificações de Material de Tubulação (*n*), são em geral documentos já existentes, feitos previamente de uma vez por todas pelas firmas e organizações de projeto, e válidos para qualquer projeto.

Constitui geralmente atribuição da equipe de projeto de processo a preparação dos fluxogramas de processo, o cálculo do diâmetro das tubulações, o preenchimento parcial das Folhas de Dados, e a colaboração na execução dos fluxogramas de detalhamento. Os demais serviços de desenho e de cálculo ficam usualmente a cargo da equipe de projeto mecânico.

14.3 Especificações Gerais de Tubulação

Além das Especificações de Material referidas no Item 8.13, é comum escrever-se também, para os projetos grandes (ou de uma vez por todas), uma especificação geral contendo dados e prescrições válidas para todos os serviços de tubulação que se tenha. A especificação geral tem por finalidade estabelecer uma orientação, tanto para o projeto como para a montagem e testes das tubulações. Essa especificação deve conter pelo menos as seguintes informações:

— Códigos e normas de projeto, montagem, inspeção etc. que devem ser obedecidos.
— Abreviaturas e siglas empregadas.
— Sistema adotado de identificação de linhas.
— Prescrições diversas sobre o projeto, cálculo, traçado, fabricação, montagem, inspeção, e testes das tubulações, que se apliquem aos casos em questão.

Deverá ser feito então um resumo organizado das recomendações referidas nos Caps. 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 que sejam aplicáveis, bem como de outras que se julgar conveniente incluir (veja Item 15.1).

A critério do projetista, e dependendo da extensão dos serviços envolvidos em cada caso, a especificação geral pode ser desdobrada em uma série de especificações para alguns serviços em particular. Costumam, por exemplo, merecer especificações próprias os seguintes serviços:

— Soldagem e inspeção de soldas.
— Tratamentos térmicos.
— Pré-montagem e montagem (inclusive teste hidrostático e outros).
— Isolamento térmico (materiais e instalação).
— Pintura e proteção de tubulações.
— Purgadores e filtros (materiais e instalação).
— Sistemas de aquecimento (materiais e instalação).
— Cálculo do diâmetro.
— Cálculo da espessura de parede.
— Cálculos de flexibilidade.

Nessas especificações é feita também uma transcrição resumida e ordenada das recomendações referidas em outros capítulos deste livro, bem como das prescrições contidas nas normas e códigos.

14.4 A Informática e o Projeto de Tubulações
Autor: Eng. Artur Braga

Da mesma forma como vem acontecendo em todas as áreas da engenharia, também no projeto de tubulações é cada vez mais comum e mais intenso o emprego da informática, automatizando tarefas e possibilitando o uso de ferramentas de cálculo mais poderosas, mais precisas e mais rápidas.

As primeiras aplicações da informática em projetos de tubulações surgiram há cerca de vinte anos; eram, comparativamente, muito simples, e foram empregadas para gerar listas de materiais e outras listas integrantes do projeto, Especificações de Material de Tubulação, bem como para o acompanhamento do cronograma do projeto e da obra, e também para o controle de materiais e de estoques durante a obra.

Um grande avanço foi conseguido, pouco depois, com a aplicação da informática ao cálculo de flexibilidade de tubulações; foram desenvolvidos vários programas que permitem o cálculo preciso das tensões e reações provenientes das dilatações com rapidez e economia. Note-se que o cálculo preciso do efeito das dilatações é extremamente trabalhoso, sendo, por isso, praticamente inviável sem o auxílio do computador. Assim, no passado, os projetistas recorriam usualmente a métodos simplificados de cálculo, todos sujeitos, entretanto, a grande margem de erro. (Vejam-se os Caps. 6 e 7, do livro "Tubulações Industriais — Cálculo"). Com o emprego atual da informática, esses cálculos podem ser feitos com grande rapidez, permitindo assim que sejam experimentadas diversas configurações para uma tubulação, até ser obtida a solução mais econômica.

Outro progresso importante na aplicação da informática ao projeto de tubulações ocorreu alguns anos depois, com o desenvolvimento de programas que permitiam a geração direta de desenhos isométricos pelo computador, com as respectivas listas de material.

Atualmente os sistemas de apoio de informática ao projeto de tubulações estão extremamente desenvolvidos, , e é cada vez maior a velocidade de progresso desses sistemas, com a criação de novos recursos.

Desses sistemas, os mais importantes são os conhecidos como CAD (Computer Aided Design) e CAE (Computer Aided Engineering), dispondo de equipamentos gráficos especiais, com os quais é possível produzir diretamente fluxogramas, plantas, e outros desenhos, com grande rapidez e facilidade.

O equipamento fundamental é a "estação gráfica", que dispõe de uma mesa digitalizadora, teclado e telas de vídeo. Depois de um treinamento rápido, um desenhista é capaz de na estação gráfica desenhar melhor e com mais precisão do que na sua antiga prancheta, descobrindo aos poucos todos os recursos disponíveis do sistema. Nesse equipamento, o desenhista atua diretamente através da mesa, e o desenho vai aparecendo nas telas; o desenho é depois produzido sobre papel por meio de uma impressora ligada ao sistema. É possível realizar desenhos com várias cores e com diversos tipos e espessuras de traços. Um equipamento com duas telas, divisíveis em quatro cada uma, permite trabalhar em oito detalhes ou vistas de um mesmo desenho. O desenho tridimensional é facílimo, pois a cada inclusão ou modificação de um detalhe em uma determinada vista, a alteração aparece automaticamente não só no desenho tridimensional como também nas demais vistas.

Os desenhos gerados por esses sistemas podem ter partes ampliadas, reduzidas, removidas, deslocadas, ou visualizadas por outros ângulos, podendo ainda apresentar partes com colorações diferentes. Quando se incorpora ao sistema CAD, além dos desenhos, outras tarefas do projeto, tais como cálculo de flexibilidade, cálculo de perdas de carga, cálculo de cargas sobre suportes etc. o sistema passa a se denominar CAE.

Com o avanço dos recursos da eletrônica e as conseqüentes melhorias na capacidade e na velocidade de processamento e armazenamento de dados em microcomputadores e em computadores em geral, está havendo uma tendência a se ter sistemas CAD cada vez mais completos e poderosos, e, mesmo assim, podendo ser utilizados em microcomputadores pessoais de última geração. Esse fato torna esses sistemas muito flexíveis e economicamente mais atrativos, porque não há a necessidade de aquisição de equipamentos específicos, normalmente de custo bem mais elevado.

Acoplando a esses sistemas de informações gráficas também as informações não gráficas de todo o projeto (Es-

pecificações de Material de Tubulações, listas de materiais, especificações de isolamento térmico etc.), e integrando-os a um único banco de dados eletrônico, teremos o que se pode chamar de "maqueta eletrônica completa da instalação".

As principais vantagens da utilização dos sistemas CAD são as seguintes:

— Maior consistência dos dados do próprio projeto de tubulações e das interfaces desse projeto com os projetos parciais (veja Item 14.1), resultando em um produto final com menor margem de erros.
— Maior facilidade e velocidade para a realização de revisões no projeto, com maior garantia de consistência nas alterações de todos os dados afetados pela revisão.
— Menor prazo para a execução do projeto, devido à redução no tempo de duração de cada uma de suas etapas, bem como devido à maior facilidade de tratamento das interfaces entre os diversos projetos parciais.
— Permite uma excelente visualização da instalação antes mesmo de ela existir fisicamente. Essa visualização possibilita a eliminação de eventuais interferências físicas entre os diversos componentes da instalação, bem como a prévia correção de falhas e introdução de melhorias no arranjo de instalação.

Nos sistemas CAD mais modernos existe ainda o recurso da "animação", ou seja, pode-se visualizar a instalação como alguém que estivesse "passeando" pelo seu interior, simulando assim um futuro usuário trabalhando dentro da instalação que será construída.

— Permite uma muito rápida circulação de documentos — mesmo a grande distância — para consulta, comentários e aprovação, para os desenhos e outros documentos do projeto gerados eletronicamente, bastando para isso que haja um sistema de computadores ligados em rede. Com isso, não há mais necessidade do manuseio físico dos originais, com o conseqüente ganho de segurança e rapidez para a coordenação do projeto.

Uma dificuldade pela qual sempre passaram as equipes encarregadas do projeto e/ou da construção e montagem de instalações de processo foi a necessidade do manuseio e arquivamento de uma grande quantidade de documentos técnicos, e as conseqüentes dificuldades de recuperação e de confiabilidade na real atualização dos dados contidos nesses inúmeros documentos. Essa é uma outra área em que a informática vem prestando um enorme auxílio, com o desenvolvimento dos "Sistemas de Processamento de Imagem", que, entre outras vantagens, permite a automação do gerenciamento de documentos técnicos por processos eletrônicos.

O "Processamento de Imagem" tem como base a transformação da documentação convencional em bancos de dados eletrônicos. Essa transformação pode se dar de duas formas: pela geração de desenhos através de sistemas CAD — processo geralmente empregado para o caso de desenhos novos —, ou pela "Rasterização" de desenhos, processo empregado para os desenhos já existentes de uma instalação. A "Rasterização" é feita em equipamentos denominados "scanner", que funcionam como se fossem máquinas reprográficas, e onde o original é digitalizado, ou seja, convertido em arquivo de dados eletrônicos.

Dessa maneira, toda a documentação técnica pode ser transformada em registros na forma de "imagens eletrônicas", que são gerenciadas pelo "Sistema de Processamento de Imagem", como qualquer outro tipo de informação computadorizada.

Esses sistemas têm tomado grande impulso com o desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de dados em discos ópticos, onde se consegue um grande aumento na capacidade e na confiabilidade de armazenamento, em comparação com os discos magnéticos convencionais.

As vantagens do emprego de "Sistemas de Processamento de Imagem" em projetos de tubulações são as seguintes:

— Drástica redução no espaço ocupado para o armazenamento de documentação técnica, aliada a maior confiabilidade e rapidez na recuperação das informações.
— Redução na quantidade de cópias necessárias durante o projeto, pois a documentação pode ser "manuseada" eletronicamente.
— Maior velocidade e confiabilidade na distribuição da documentação de projeto, principalmente para usuários distantes, pelo fato de a distribuição ser feita de forma eletrônica.
— Maior garantia da não utilização de revisões ultrapassadas dos diversos documentos, porque o banco de dados passa a ser a única central de emissão de documentos, e também porque as mudanças de revisão são facilmente incluídas.

O contínuo desenvolvimento da informática tem viabilizado a criação de um grande número de ferramentas e de aplicativos ("software") que garantem, cada vez mais, maior confiabilidade e produtividade na execução de projetos de tubulações.

Esses sistemas não são, no entanto, soluções mágicas válidas para todos os casos, exigindo-se, na maioria das vezes, muito cuidado na seleção dos equipamentos ("hardware") e dos programas aplicativos, na capacitação e treinamento de pessoal, e na avaliação da relação custo-benefício da aquisição e implantação desses novos sistemas. É indispensável ainda que haja uma prévia definição estratégica do grau de automação desejado, e muita atenção para as tendências previsíveis da evolução tecnológica, para evitar a compra de sistemas que se tornem rapidamente obsoletos ou incompatíveis com as novas tecnologias em desenvolvimento.

A rapidez, cada vez maior, no avanço tecnológico desses sistemas é uma realidade que coloca continuamente à disposição da engenharia maior número de aplicativos que são cada vez mais poderosos.

Pode-se assim contar, pelas atuais tendências da evolução dos equipamentos de informática e dos aplicativos, com uma mudança radical na rotina das atividades de projeto, e, em futuro não muito distante, a tradicional prancheta de desenho e os arquivos convencionais estarão definitivamente ultrapassados e aposentados.

14.5 Interdependência entre o Projeto de Tubulações e os Outros Projetos

Existe, evidentemente, uma série de pontos de mútua interdependência entre o projeto de tubulações e os outros projetos de engenharia que fazem parte do projeto geral de uma mesma instalação industrial. Vamos relacionar, nos itens a seguir, as informações que devem ser recebidas pelo projeto de tubulações dos diversos outros projetos, e depois as informações que o projeto de tubulações deve fornecer aos outros projetos.

É claro que essas duas relações têm apenas caráter informativo: em numerosos casos várias das informações relacionadas não precisam ser fornecidas, e casos haverá em que serão necessárias outras informações que não estão citadas.

Muitas vezes a troca de informações, nos dois sentidos, é interdependente e deve ser simultânea: Por exemplo, tanto o projetista das tubulações subterrâneas tem que ter conhecimento da rede elétrica subterrânea, como viceversa. Pelo fato de todos os projetos serem via de regra desenvolvidos ao mesmo tempo, o intercâmbio de informações tem de ser constante, fornecendo-se os dados necessários assim que possam ser obtidos.

A ordem na qual as informações estão listadas é de certa forma arbitrária, porque é impossível estabelecer-se uma ordem cronológica ou uma ordem de importância de todas essas informações, que variam em cada caso.

14.6 Informações que devem Ser Recebidas de Outros Projetos

1. *Projeto de processo* (e de utilidades):

— Fluxogramas de processo completos, como descrito no Item 13.3.
— Pressão e temperatura de operação de todas as linhas: valores normais de regime, e valores máximos e mínimos transitórios que possam ocorrer, inclusive duração e probabilidade previsíveis desses máximos e mínimos.
— Condições de serviço cíclico ou variável; freqüência e duração dos ciclos.
— Condições de corrosão, abrasão, erosão ou necessidade de materiais não usuais. Incompatibilidades de materiais com fluidos conduzidos. Exigências especiais de não-contaminação.
— Condições de risco potencial da tubulação, isto é, propriedades de flamabilidade, explosividade, toxidez, ou outros possíveis efeitos deletérios dos fluidos contidos.
— Necessidade de isolamento térmico e de aquecimento, por motivo de processo, quando for o caso. Finalidade do isolamento ou do aquecimento, temperaturas que devam ser mantidas nas linhas.
— Necessidade de limpeza periódica das linhas, ou de desmontagem fácil, quando for o caso. Freqüência das limpezas e desmontagens, caso existam.
— Disponibilidade de vapor para aquecimento e características completas do vapor; condições de recolhimento do condensado.
— Existência de tubulações sujeitas a golpes de aríete, vibrações ou outras cargas decorrentes do escoamento dos fluidos e informações completas sobre essas cargas, bem como sobre tubulações que produzam ruídos intensos.

2. *Construção civil* (arruamento, drenagem, urbanização):

— Desenhos de arranjo geral completos, como descrito no Item 9.5.
— Projeto geral de drenagem: traçado geral, drenagem superficial e subterrânea, declividades, larguras e perfis de valas e canaletas.
— Cotas de nível necessárias nas diversas áreas, pisos e construções para permitir a drenagem.
— Localização de ruas, avenidas, acessos, acostamentos, taludes, diques, muros de arrimo etc.

3. *Construção civil* (fundações):

— Natureza do subsolo, cargas que podem ser suportadas pelo terreno (para decisão sobre o tipo e localização dos suportes de tubulação).
— Dimensões e localização dos blocos de fundação de prédios, estruturas, equipamentos e suportes de tubulação.
— Possibilidade de sustentação pelo terreno de cargas horizontais e inclinadas (para decisão sobre suportes para ancoragens, suportes para esforços de atrito e para reações de juntas de expansão).

4. *Construção civil* (prédios, estruturas, arquitetura):

— Dados constantes nos desenhos de arranjo geral, como descrito no Item 9.5.
— Localização, dimensões e detalhes de prédios e estruturas.
— Cargas que podem ser suportadas por prédios e estruturas (para aproveitamento como suportes de tubulação).

— Folgas que devam ser deixadas até os tubos. Acessos, distâncias de segurança.

5. *Caldeiraria*:

— Desenhos dimensionais certificados (emitidos pelos fabricantes) de vasos, tanques, caldeiras, trocadores de calor, reatores, fornos e demais equipamentos de caldeiraria, mostrando dimensões gerais e posição (cotas, elevação, orientação e projeção) de todos os bocais de ligação às tubulações. Detalhes de todos esses bocais com indicação de tipo, diâmetro nominal, classe de pressão, norma dimensional, faceamento de flanges, roscas etc.
— Informações sobre os bocais que tenham obrigatoriamente posições fixas e os que possam ser mudados por conveniência do projeto de tubulações (a orientação de quase todos os bocais pode em geral ser alterada quando necessário).
— Esforços admissíveis sobre os bocais dos equipamentos.
— Temperaturas de operação e de projeto dos equipamentos. Valores das dilatações próprias dos equipamentos.
— Posição de bocas de visita, instrumentos e outros acessórios que devam ter acesso para operação, manutenção ou inspeção. Localização e dimensões de plataformas e escadas.
— Espaços livres necessários para instalação, operação, desmontagem ou remoção do equipamento ou de peças internas ou externas dos mesmos.
— Condições especiais de segurança, para equipamentos de risco elevado: distâncias de segurança, acesso livre, exigência de hidrantes ou de estações de serviço próximas etc.
— Equipamentos que sejam recebidos na obra inteiros ou desmontados, necessitando, nesse caso, de espaço para montagem.
— Pressão de teste hidrostático de cada equipamento.
— Dados para especificação e seleção do purgador de vapor de saída, no caso de aparelhos de aquecimento a vapor.
— Vibrações e outros esforços dinâmicos ou cíclicos, caso existam, que possam ser transmitidos às tubulações.

6. *Máquinas*:

— Desenhos dimensionais certificados, emitidos pelos fabricantes.
— Informação sobre bocais que tenham posição fixa ou que possam ser mudados.
— Esforços admissíveis sobre bocais.
— Valores das dilatações próprias.

} Como detalhado acima para caldeiraria

— Espaços livres necessários para instalação, operação, manutenção, desmontagem e remoção. Peso dos equipamentos e peças desmontáveis.
— Áreas de acesso necessárias.
— Localização e dimensões de plataformas e escadas.
— Vibrações e outros esforços dinâmicos ou cíclicos, caso existam, que possam ser transmitidos às tubulações.

7. *Eletricidade:*

— Projeto completo da rede elétrica subterrânea, mostrando traçado geral, dimensões de condutores e envoltórios de proteção, profundidades, dimensões e localização de caixas, câmaras subterrâneas e outras construções.
— Localização de subestações e outros pontos de alimentação elétrica. Localizações preferidas para os pontos de consumo de eletricidade (bombas e outras máquinas, válvulas motorizadas etc.), e disposição preferida de chegada de cabos alimentadores a esses pontos.

8. *Instrumentação*:

— Dados de instrumentação que constam nos fluxogramas, como descrito no Item 13.3.
— Tipos de instrumentos a serem adotados (ligados à rede de tubulação): desenhos ou catálogos de fabricantes, dimensões, detalhes de instalação, espaços necessários para montagem, operação e manutenção, necessidade ou não de acesso permanente.
— Tipos de válvulas de controle a serem adotadas: desenhos ou catálogos de fabricantes, dimensões, detalhes de instalação, arranjo de tubo de contorno e de válvulas de bloqueio, espaços necessários para montagem, operação e manutenção, necessidade ou não de acesso permanente.
— Distâncias mínimas de tubo reto exigidas antes e depois de placas de orifício, venturis e outros medidores de vazão.
— Dimensões e espaços necessários para passagem de dutos de tubos de instrumentação nos suportes de tubulação.

14.7 Informações que Devem ser Fornecidas aos Outros Projetos

1. *Projeto de processo* (e de utilidades):

— Comprimentos verdadeiros das tubulações, tipo e quantidade de acessórios e outros acidentes (para o cálculo das perdas de carga e dos diâmetros).
— Diferenças de cotas de nível entre extremos das tubulações (para a verificação das perdas de carga e das condições de sucção das bombas).

2. *Construção civil* (drenagem, arruamento, urbanização):

— Larguras necessárias das faixas de passagem e das pontes e trincheiras de tubulação. Profundidades necessárias das trincheiras. Elevações de todas as tubulações.
— Efluentes provenientes de vazamentos, despejos, lavagem e teste hidrostático de tubulações e de equipamentos ligados à tubulação. Natureza, vazão e localização desses efluentes.
— Projeto completo das tubulações subterrâneas.

3. *Construção civil* (fundações):

— Tipo e localização de todos os suportes de tubulação (veja Item 14.2*i, j*).
— Todas as cargas atuantes sobre os suportes, tanto em regime como em situações transitórias, inclusive esforços de atrito, de ancoragens, vibrações, peso de água para teste hidrostático etc. (veja Item 14.2*i, j*).
— Todos os esforços feitos pela tubulação sobre pontos extremos ligados a equipamentos ou peças que tenham fundação própria independente.
— Tipo, localização e esforços que atuam sobre chumbadores, placas de apoio, olhais e outras peças chumbadas ao concreto (inserts) e que sejam necessárias à fixação ou sustentação de tubos, acessórios e suportes de tubos.

4. *Construção civil* (prédios, estruturas, arquitetura):

— Traçado e elevação de todas as tubulações.
— Tipo e localização de todas as cargas atuantes sobre os suportes de tubulação, como descrito acima, para permitir o detalhamento dos suportes e estruturas de apoio.
— Idem, sobre todos os prédios e estruturas existentes que tenham sido aproveitados para suporte de tubulação.
— Tipo, localização e esforços que atuam sobre chumbadores, placas de apoio, olhais e outras peças chumbadas ao concreto.
— Temperatura de operação das tubulações.
— Localização, tipo desejado, comprimento, largura e elevação de plataformas para manobra de válvulas, travessia de linhas e outras finalidades, inclusive escadas de acesso.

5. *Caldeiraria*:

— Esforços exercidos pela tubulação sobre bocais de vasos, tanques e outros equipamentos de caldeiraria. Natureza transitória, variável ou cíclica desses esforços, quando for o caso.
— Suportes de tubulação presos a vasos, tanques e outros equipamentos: tipo, localização desses suportes e esforços exercidos.
— Localização e orientação preferidas de bocais de ligação (quando a posição não for prefixada rigidamente), tendo em vista a conveniência do traçado de tubulações.
— Localização preferida de plataformas e escadas de acesso.

6. *Máquinas*:

— Esforços exercidos pela tubulação sobre os bocais de ligação, como descrito acima.
— Localização preferida dos bocais de ligação, tendo em vista a conveniência do traçado de tubulações (no caso das bombas, por exemplo, a carcaça algumas vezes pode ser montada em várias posições optativas).

7. *Eletricidade*:

— Projeto completo das tubulações subterrâneas.
— Localização, carga (amperagem, voltagem, freqüência e número de fases) e detalhes de entrada de todos os pontos de consumo de eletricidade relacionados com o projeto de tubulações: motores de bombas e de outras máquinas, válvulas comandadas por motor elétrico ou por solenóide etc.

8. *Instrumentação:*

— Plantas de tubulação e desenhos isométricos mostrando localização de instrumentos, válvulas de controle e passagens de dutos de tubos de instrumentação.

14.8 Informações Adicionais Necessárias ao Projeto de Tubulações

Além dos desenhos de tubulação e das demais informações mencionadas no Item 14.6, várias outras informações serão necessárias ao desenvolvimento do projeto. Relacionamos abaixo as mais importantes ou mais comuns dessas informações. Evidentemente, nem sempre todas serão necessárias; em compensação, para alguns projetos deverão ser obtidas informações que não constam na lista a seguir:

1. *Conhecimento do funcionamento da instalação* — Não é, em geral, necessário um conhecimento profundo e detalhado do funcionamento do sistema sob o ponto de vista do processamento químico. Convém, entretanto, que haja sempre um conhecimento não só da razão de ser do que se vai projetar, como também de todas as implicações e exigências de serviço.

2. *Códigos e leis do lugar* — Toda legislação local que possa interferir com o projeto deve ser conhecida, em particular o Código de Obras local.

3. *Normas e padrões do cliente* — Caso o cliente, que vai receber o projeto, tenha normas e padrões próprios, relativos a qualquer aspecto do projeto de tubulações, esses dados devem ser perfeitamente conhecidos para que o projeto possa atender aos mesmos.

4. *Cronograma e orçamento da obra* — O projetista deve ser informado do cronograma da obra, isto é, dos prazos dentro dos quais cada etapa deva estar concluída. Deve ser informado também dos recursos financeiros de que se dispõe para a obra, a fim de que possa ajustar o projeto a todas essas circunstâncias.

5. *Grau de periculosidade local, normas de segurança* — O projetista deve conhecer exatamente os riscos inerentes ao projeto ou ao local onde a obra será feita, bem como todas as normas de segurança existentes, tanto do cliente como de autoridades públicas. Deve também conhecer perfeitamente todas as recomendações ou exigências relativas à preservação ou proteção ecológica do local do projeto ou de suas vizinhanças.

6. *Disponibilidade e qualificação de empreiteiros* — É necessário que seja perfeitamente conhecida a disponibilidade e qualificação dos empreiteiros existentes, para que o projeto seja economicamente exeqüível.

7. *Disponibilidade dos materiais* — A disponibilidade dos materiais deve ser conhecida pela mesma razão acima, inclusive preços, prazos de entrega, quantidades mínimas e necessidade de importação, quando for o caso.

8. *Sondagens* — Convém sempre que seja conhecida a natureza do subsolo, porque poderá influir no traçado das tubulações, nos vãos entre suportes etc., tendo em vista um projeto mais econômico. Essa informação é evidentemente necessária também para o projeto de tubulações subterrâneas.

9. *Clima* — Informações sobre o clima local, incluindo temperaturas extremas, incidência de chuvas, ventos, neve etc., devem ser conhecidas porque têm influência no projeto.

14.9 SEQÜÊNCIA DE SERVIÇOS EM UM PROJETO DE TUBULAÇÕES

Vamos dar a seguir, como orientação geral, a seqüência que normalmente têm as diversas etapas de serviço em um projeto de tubulações:

1. *Fluxogramas de processo* — São os primeiros desenhos feitos em um projeto de tubulações, baseados apenas nos dados ou necessidades de serviço. Com esses desenhos prontos tem-se uma idéia completa da rede principal de tubulações, isto é, das principais interligações necessárias entre os diversos vasos, equipamentos etc., com indicações dos respectivos fluidos conduzidos, vazões, temperaturas, pressões e demais condições de trabalho. Esses desenhos são feitos pela equipe de processo.

2. *Plantas de arranjo geral* — Completados os fluxogramas de processo, a etapa seguinte é o desenho das plantas de arranjo geral. A elaboração desses desenhos, que mostram a distribuição no terreno de todas as ruas, prédios, áreas de processo, vasos, equipamentos etc., é muito importante e deve ser sempre supervisionada por pessoas de grande experiência.

O funcionamento, as facilidades de operação e de manutenção, as condições de segurança, e o próprio custo da instalação, dependerão essencialmente da distribuição que se der aos diversos elementos no terreno. As plantas de arranjo geral vão também servir de base para as plantas de tubulação.

É importante observar que é na fase de desenho das plantas de arranjo geral, que se escolhem as faixas de passagem das tubulações e se fixam as posições e as elevações que terão os vasos e equipamentos, bem como as elevações em que correrão as tubulações horizontais. As plantas de arranjo geral são feitas pela equipe de projeto mecânico com assistência da equipe de processo.

3. *Fluxogramas de detalhamento* — Uma vez desenhadas as plantas de arranjo geral já se pode ter uma idéia dos comprimentos aproximados de cada tubulação e, portanto, pode-se, para cada uma, calcular os diâmetros necessários e fixar a Especificação de Material conveniente. Tem-se assim todos os elementos para desenhar os fluxogramas de detalhamento, que são baseados nos fluxogramas de processo, completando-se os dados faltantes. Esses desenhos são também preparados pela equipe de processo. Nessa fase do projeto devem também ser feitos os cálculos de espessura de parede dos tubos, onde for necessário, como detalhado no Cap. 4 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo".

4. *Especificações de Material de Tubulação* — Como já vimos no Item 8.13, na maioria dos casos as Especificações de Material de Tubulação a serem adotadas no projeto são documentos já existentes, de propriedade da organização de projeto ou de alguns usuários importantes de tubulações industriais, e, por esse motivo, não é necessário fazê-las em cada projeto. Entretanto, caso exista no projeto alguma tubulação que não se enquadre em nenhuma especificação existente, será necessário elaborar uma especificação especial, o que deverá ser feito em seguida aos fluxogramas de detalhamento.

5. *Lista de linhas* — A seguir deverão ser feitas as lista de linhas, que serão simplesmente o relacionamento de todas as tubulações constantes nos fluxogramas de detalhamento, completando-se com os dados das Especificações de Materiais de Tubulação.

6. *Lista de materiais* (preliminar) — Uma lista de materiais preliminar deve ser feita o mais cedo possível para permitir que seja providenciada a encomenda dos materiais, que é sempre um processo demorado, principalmente quando há materiais importados ou outros de obtenção difícil. Para se fazer a lista de materiais estuda-se sobre os desenhos de arranjo geral, um traçado preliminar para cada tubulação, calculando-se então o comprimento ne-

cessário de tubos e as quantidades de válvulas, flanges, curvas etc.

Como essa lista é preliminar, baseada em traçados que poderão ser bastante modificados até o final do projeto, convém que para efeito de encomenda, as quantidades calculadas dos materiais de uso corrente sejam acrescidas de 5% a 10%, para evitar futuras faltas de material. Para os materiais especiais e de alto custo deve-se procurar maior exatidão na encomenda.

7. *Plantas de tubulação* (desenho preliminar) — O próximo passo é o início do desenho das plantas de tubulação, que podem ser baseadas nos traçados preliminares feitos para a lista de materiais, melhorados em conseqüência de um estudo mais demorado e cuidadoso. O desenho das plantas de tubulação, ainda que preliminar, deve ser feito em escala, com todas as convenções, indicações e demais características de um desenho definitivo. Esses mesmos desenhos serão aproveitados até o final do projeto, devendo apenas sofrer as revisões e complementações que forem necessárias.

8. *Estudo de flexibilidade* — Depois de feitas as plantas de tubulação, dá-se início ao estudo de flexibilidade, para verificar se os traçados desenhados bem como se a localização e tipos de suportes adotados satisfazem do ponto de vista de absorção dos esforços provenientes das dilatações térmicas e de movimentos de pontos extremos das tubulações. Esse estudo consiste no cálculo das tensões desenvolvidas nos tubos e das reações exercidas sobre os suportes e bocais, como está no Cap. 5 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo".

Nessa fase do projeto fazem-se também os cálculos dos pesos e dos esforços de atrito transmitidos ao solo ou aos prédios, estruturas etc., através dos suportes, por todo o sistema de tubulações, para permitir que possam ser feitos, por pessoal especializado, os projetos das referidas estruturas e suas fundações. Os cálculos e especificações para a encomenda das juntas de expansão, quando for o caso, costumam ser feitos simultaneamente com os estudos de flexibilidade.

9. *Plantas de tubulação* (desenho final) — Como resultado dos estudos de flexibilidade haverá quase sempre necessidade de se introduzir algumas modificações nos desenhos preliminares das plantas de tubulação, alterando-se traçados ou mudando-se a localização ou o tipo de suportes. Com essas modificações feitas, tem-se os desenhos finais das plantas de tubulação. Esses desenhos devem ser completados com todas as cotas e indicações faltantes, lista resumo dos suportes etc.

10. *Isométricos* — A etapa seguinte será o desenho dos isométricos, que serão baseados nos traçados feitos nas plantas de tubulação.

11. *Desenhos de fabricação, desenhos de detalhes típicos, desenhos de suportes, listas de purgadores etc.* — Freqüentemente são necessários desenhos de detalhes de fabricação, desenhos de detalhes típicos, desenhos de suportes especiais, listas de purgadores de vapor, listas de isolamento térmico e outros desenhos e listas auxiliares como detalhado no Item 14.2. Todos esses desenhos devem ser preparados nesta fase.

12. *Lista de materiais* (final) — Completados os isométricos têm-se todos os elementos para se fazer a lista final de materiais do projeto, que será simplesmente a totalização das listas constantes em cada isométrico, acrescida das tubulações para as quais não foram feitos desenhos isométricos. Essa lista possivelmente diferirá bastante da lista preliminar, devendo ser feita a encomenda dos materiais que estiverem em falta.

Observações:

1. Em qualquer projeto, principalmente em projetos grandes com muitos desenhos, haverá sempre uma certa superposição entre as diversas fases sucessivas. Essas superposições são obrigatórias não só para economia de tempo, como também porque não há uma independência completa entre as diversas etapas do projeto, dependendo muitas vezes o trabalho da fase anterior, de dados obtidos nas fases seguintes. Por esse motivo, os trabalhos de cada etapa devem ser iniciados assim que se tenha um mínimo de elementos suficientes para isso, sem se esperar a conclusão da fase anterior. Por exemplo, não se deve esperar que sejam terminadas todas as plantas de tubulação para então dar início ao estudo de flexibilidade. Esse estudo deverá começar assim que se tenham as primeiras plantas desenhadas. E assim em todas as outras etapas do projeto.

2. Em projetos de modificações ou de ampliação de uma instalação existente, as mesmas etapas devem ser seguidas, podendo, entretanto, haver supressão de algumas delas. Por exemplo, em qualquer um desses casos não haverá em geral necessidade de se fazerem os desenhos de arranjo geral, porque os mesmos já deverão existir. Nesses projetos também freqüentemente não haverá necessidade de se desenhar fluxogramas nem plantas de tubulação, devendo apenas as modificações ou ampliações serem introduzidas, como revisões, nos desenhos existentes.

3. É importante ressaltar as seguintes precedências em tempo, que devem ser observadas entre algumas etapas do projeto de tubulações e serviços de outras especialidades de engenharia:

— As sondagens geológicas devem ser feitas antes do estudo do arranjo geral, porque a natureza do subsolo, e, portanto, o tipo e o custo das fundações necessárias, têm evidente influência na localização preferível de construções e equipamentos.

— O projeto preliminar de drenagem deve ser feito antes da fixação dos níveis, que é também uma conseqüência do projeto de drenagem.

— A fixação dos níveis finais deve ser feita antes do cálculo dos diâmetros das tubulações, devido aos problemas de NPSH, perdas de carga admissíveis, potência de bombas etc.

15

MONTAGEM E TESTES DE TUBULAÇÕES

15.1 PRÉ-MONTAGEM DE PEÇAS DE TUBULAÇÃO

Em montagens de tubulações industriais é usual fazer-se o que se denomina "pré-montagem de peças de tubulação", que consiste na montagem prévia de subconjuntos compostos de um certo número de pedaços de tubo reto e de conexões (flanges, reduções, tês, curvas, curvas em gomos, colares, derivações soldadas, tampões etc.). Cada um desses subconjuntos denomina-se "peça" (spool). A Fig. 15.1 mostra um exemplo de uma peça que inclui 4 pedaços de tubos, 5 conexões e 8 soldas. Os pontos marcados "SC" são as soldas de campo (feitas no local da obra), em outras peças ou em varas avulsas de tubo. Nos trechos de tubulação contendo apenas tubos retos, sem nenhuma conexão, não há evidentemente necessidade de pré-montagem de peças. Para a construção desses trechos de linha o montador recebe diretamente, no local da obra, as varas corridas de tubo (random lenghts), e vai ligando umas nas outras.

A pré-montagem de peças de tubulação aplica-se às tubulações metálicas, com soldas de topo, e eventualmente às tubulações de plásticos reforçados (tubos "FRP"). Para tubulações enterradas, de qualquer material, não se faz pré-montagem, que também não é usual para tubulações de 2", ou menores. Em princípio, devem ser pré-montadas peças abrangendo a maior parte possível de todo sistema de tubulações a ser montado, para simplificar o serviço global de montagem, reduzindo ao mínimo a soldagem e montagem no local da obra. A pré-montagem das peças pode ser feita em oficina própria, fora do local da montagem (pré-fabricação), ou no próprio local da montagem (fabricação no campo). A pré-fabricação é usada onde há recursos de oficinas, ou em montagens grandes, quando for econômica a instalação de uma oficina especial para esse fim. Com a pré-fabricação em oficinas obtém-se um rendimento muito melhor do trabalho e conseguem-se peças mais bem feitas e com dimensões mais exatas. No caso de montagens grandes, a pré-fabricação em oficinas permite um trabalho mais rápido, mais seguro e em condições bem mais econômicas do que a fabricação no campo, devido à não interrupção do serviço por chuva ou mau tempo e à possibilidade de fabricação em série de várias peças.

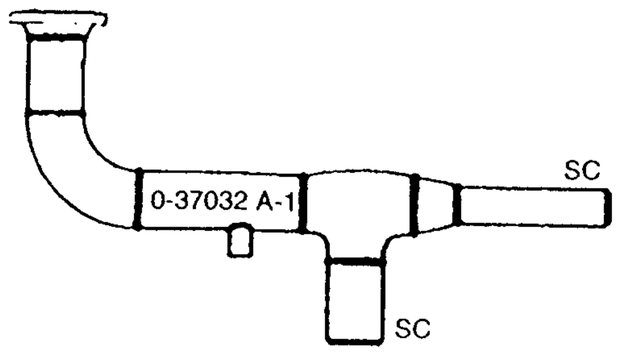


Fig. 15.1 Peça pré-montada.

Para a pré-montagem de peças, o montador deve receber os desenhos isométricos, as plantas de tubulação (para poder visualizar a localização de cada trecho de tubulação), e as especificações de montagem e de inspeção. Essas especificações, que são documentos importantíssimos e indispensáveis, devem discriminar as normas a serem obedecidas em todas as fases da pré-fabricação e as exigências adicionais ou particulares de recebimento e preparação do material, montagem, soldagem, tolerâncias de montagem, tratamentos térmicos, inspeção, acabamento, armazenagem, marcação e transporte das peças etc. Muitos projetistas e usuários de tubulações possuem essas especificações já elaboradas previamente, e válidas para muitos projetos e montagens (veja Item 14.3).

O primeiro trabalho do montador, ao receber os desenhos isométricos, é o estudo de qual a forma mais conveniente para subdividir a tubulação mostrada em cada isométrico em um certo número de peças. A escolha das dimensões e do peso das peças pré-montadas depende essencialmente das facilidades que existam de transporte e de elevação de cargas no local da obra e entre a oficina e a obra.

As peças grandes e pesadas diminuem o número de soldas no campo mas em compensação tornam em geral a montagem mais difícil (*). Na prática costuma-se limitar em 12 m o comprimento, em 3 m a largura ou a altura, e em 2.500 kg o peso máximo de cada peça pré-montada. As emendas entre uma peça pré-montada e outra serão soldas de campo (field welds), e assim, no estudo para a subdivisão das peças, deve-se procurar que as soldas de campo fiquem tanto quanto possível em locais de fácil acesso, de preferência deixando uma folga livre mínima de 300 mm até qualquer obstáculo (paredes, pisos, colunas, bases de equipamentos, vasos, estruturas etc.). É importante também que as soldas de campo sejam de execução fácil, procurando-se então, tanto quanto possível, evitar soldas de campo em posição vertical ou sobrecabeça, que são sempre de execução mais difícil. São, por exemplo, soldas sobrecabeça a parte inferior das soldas circunferenciais em tubos horizontais; essas soldas devem ser evitadas para execução no campo, principalmente no caso de tubos de grande diâmetro ou de materiais difíceis de soldar. Em qualquer caso, as soldas de campo devem ser reduzidas ao mínimo compatível com as circunstâncias locais, isto é, as peças prémontadas devem incluir o máximo possível de soldas (inclusive e principalmente as curvas em gomos e derivações soldadas de qualquer tipo); essa recomendação é importante sobretudo para as tubulações de materiais que exijam tratamento térmico das soldas.

Para a pré-montagem de peças de aços-liga ou de aços inoxidáveis, é indispensável que todas as dimensões sejam cuidadosamente conferidas no local — antes da fabricação das peças —, para evitar a necessidade de qualquer ajuste posterior, em virtude de pequenos desvios que possam ocorrer em relação às dimensões de projeto.

As peças pré-montadas devem incluir obrigatoriamente todos os flanges (inclusive flanges de orifício), todas as conexões soldadas, (curvas, joelhos, tês, reduções, tampões etc.), derivações soldadas de qualquer tipo, curvas em gomos, reforços etc. Não devem ser incluídos os purgadores, válvulas, filtros, separadores, juntas de expansão e todas as conexões não-soldadas.

Para facilitar a montagem e evitar erros, todas as peças pré-montadas costumam receber uma numeração que deve ser feita imediatamente, marcando-se claramente à tinta na própria peça. A numeração das peças pré-montadas deve estar ligada ao número do desenho isométrico no qual a peça aparece. Essa numeração costuma também ser acrescentada, pelo montador, nos desenhos isométricos que forem utilizados para a montagem. Nesses desenhos devem igualmente ser indicados os locais de todas as soldas de campo, sejam as soldas entre as peças pré-montadas, ou entre essas peças e as varas avulsas de tubo.

(*) Para as tubulações com algum revestimento anticorrosivo interno, de plásticos, borrachas, ou materiais semelhantes, é usual que não existam soldas de campo, sendo todas as extremidades das peças pré-montadas dotadas de flanges, para permitir a continuidade do revestimento, que deve se prolongar obrigatoriamente pela face dos flanges. Para essas tubulações, as peças pré-montadas devem ser menores, para possibilitar a aplicação do revestimento depois da peça fabricada. As dimensões das peças devem, por isso, ser determinadas de acordo com o aplicador do revestimento.

15.2 Recomendações para a Pré-Montagem de Peças de Tubulação

1. *Preparação do material* — Antes de iniciar a prémontagem é necessário um cuidadoso trabalho de preparação dos materiais, que consiste na verificação e classificação de todos os componentes que vão ser utilizados (tubos, flanges, conexões etc.), seguidas da limpeza externa e interna, para remover ferrugem, tintas, terra e outros materiais estranhos, e da verificação do tipo de material.

Essa verificação consiste em determinar o tipo exato de material de cada componente utilizado, *um por um*, para certificar se está de acordo com o especificado no projeto. É um trabalho fastidioso, mas importantíssimo e absolutamente indispensável, principalmente em montagens de responsabilidade, ou quando são manuseados vários tipos diferentes de materiais. É importante lembrar que a aparência externa dos vários tipos de aços-carbono e de aços de baixa liga é praticamente a mesma, assim como para as muitas qualidades de aços inoxidáveis entre si, e também para outros materiais, sendo impossível, mesmo para as pessoas mais experientes, distinguir com segurança um material do outro. É fácil perceber as graves conseqüências que podem decorrer de um engano de materiais, e esses enganos são muito possíveis de acontecer, ainda que sejam tomados todos os cuidados no recebimento e estocagem dos materiais. Daí a necessidade dessa verificação do tipo de material em cada componente utilizado; para evitar de todo a possibilidade do uso indevido de um material no lugar de outro, recomenda-se que a verificacão seja feita depois da ajustagem das peças, e imediatamente antes da soldagem.

Para essa verificação, a primeira providência é conferir a marcação do material com o certificado da qualidade emitido pelo fabricante, mas, em montagens de responsabilidade isso não basta, mesmo porque, em muitos casos, a marcação dos materiais está ilegível ou não oferece inteira garantia, recomendando-se por isso a realização, pelo menos, de testes não-destrutivos locais de classificação da liga metálica (chamados "testes por pontos"), ou mesmo de análises de laboratório em amostras do material.

2. *Encurvamento de tubos* — As curvas obtidas por encurvamento de tubos podem ser feitas por vários processos (como, por exemplo, os descritos a seguir), desde que não causem torções, rugas ou ondulações, nem adelgaçamento das paredes ou ovalização excessiva do tubo. De acordo com a norma ASME B.31.3, a ovalização máxima permitida (diferença entre os diâmetros maior e menor) é de 8% para os tubos sujeitos à pressão interna, e 3% para os tubos sujeitos à pressão externa.

Como já vimos no Item 10.9, as curvas de tubo curvado devem ser usadas sempre que possível, em tubulações de aço-carbono, em lugar dos joelhos e curvas, porque representam economia de solda e de conexões, além de causarem menor perda de carga e menores riscos de vazamentos, de

erosão e de corrosão. É usual o uso de conexões em tubulações de mais de 8", que são difíceis ou até impossíveis de curvar, e em locais apertados, porque o tubo curvado deve ter em geral um raio médio mínimo de 5 diâmetros do tubo.

Os tubos até 1" são geralmente curvados a frio em prensas manuais. Para os tubos de 1½" ou maiores emprega-se o encurvamento a frio (em prensas a motor), ou de preferência o encurvamento a quente, que é o único processo usado para tubos com mais de 4" de diâmetro.

A norma ASME B.31 (Seções 1 e 3) exige tratamento térmico de alívio de tensões, após o encurvamento, para os tubos curvados a frio, de aço-carbono, e de aços-liga ferríticos, de qualquer espessura, quando o alongamento da fibra mais distendida for superior a 50% do alongamento básico especificado do material; se houver exigência de teste de impacto, esse tratamento é exigido quando o alongamento da fibra mais distendida for superior a 5% do alongamento básico. A mesma norma exige que a conformação a quente de aços-carbono e aços-liga ferríticos seja feita em temperatura superior à respectiva temperatura de transformação (ponto crítico superior).

Como regra geral não se recomenda o uso de tubos com costura para a fabricação de curvas de tubos curvados; quando entretanto esse uso for indispensável, deve-se posicionar a costura na linha média da curva, longe das regiões mais tensionadas.

São as seguintes as etapas de um dos processos de encurvamento a quente:

a) O tubo é enchido completamente com areia fina, seca e limpa; durante o enchimento o tubo é vibrado para eliminar os vazios da areia. As extremidades do tubo são depois firmemente tamponadas.

b) O tubo é aquecido no local a ser curvado (800°C a 1000°C para o aço-carbono), por meio de maçaricos ou em um forno; em qualquer caso é importante um bom controle da temperatura para evitar o aquecimento excessivo.

c) Faz-se em seguida um aquecimento, a temperatura mais baixa, em todo o tubo, para aquecer a areia com as finalidades de guardar calor e evitar o resfriamento posterior muito rápido.

d) O tubo é levado rapidamente para uma bancada de encurvamento onde uma das extremidades é rigidamente presa e a outra vai sendo tracionada aos poucos até ser atingida a curvatura desejada.

Para controlar as medidas no encurvamento de tubos, costumam-se fazer gabaritos de madeira ou riscos na bancada de encurvamento.

Para o encurvamento manual a frio, e para o encurvamento a quente com areia, o raio médio mínimo de curvatura que normalmente se consegue é da ordem de cinco vezes o diâmetro nominal do tubo.

Existem processos modernos de encurvamento de tubos por meio de aquecimento local por corrente elétrica de alta freqüência, com os quais não é necessário encher o tubo de areia e conseguem-se raios de curvatura médios desde 1,5 vez o diâmetro, para tubos finos e até 3 diâmetros, para tubos de quaisquer diâmetros (como já vimos no Item 10.9.2), sendo possível curvar tubos de até mais de 20" de diâmetro. Como o aquecimento é local e por tempo muito curto, não há prejuízo para o material, seja por oxidação, seja por alterações metalúrgicas; pode-se assim curvar tubos de qualquer tipo de aço inoxidável sem que haja risco de sensitização, bem como tubos de diversos metais não-ferrosos; ligas de cobre e de níquel, alumínio, titânio etc. Por esses processos é possível também obter curvas reversas, isto é, não contidas em um plano.

3. *Chanfros para solda* — Os chanfros para solda de topo são geralmente feitos por usinagem, corte a maçarico (oxicorte) ou goivagem. O maçarico para fazer o chanfro deve ser automático, com o maçarico fixo e o tubo girando em um posicionador. Existem também máquinas especiais para cortar e chanfrar extremidades de tubos, que são fixadas no próprio tubo (de qualquer diâmetro), e nas quais o maçarico gira percorrendo toda circunferência do tubo. Essas máquinas são usadas principalmente para serviços no local da montagem. Em qualquer caso, os chanfros de solda devem ser deixados completamente liso e limpos, sem escória, impurezas e rebarbas de corte.

Para aços-liga com teor de cromo acima de 5%, e para aços inoxidáveis, não pode ser empregado o oxicorte, podendo ser usado o corte a plasma. O oxicorte convencional também não se aplica aos metais não-ferrosos.

4. *Posição dos flanges* — Todos os flanges com face no plano horizontal devem ser sempre colocados de forma

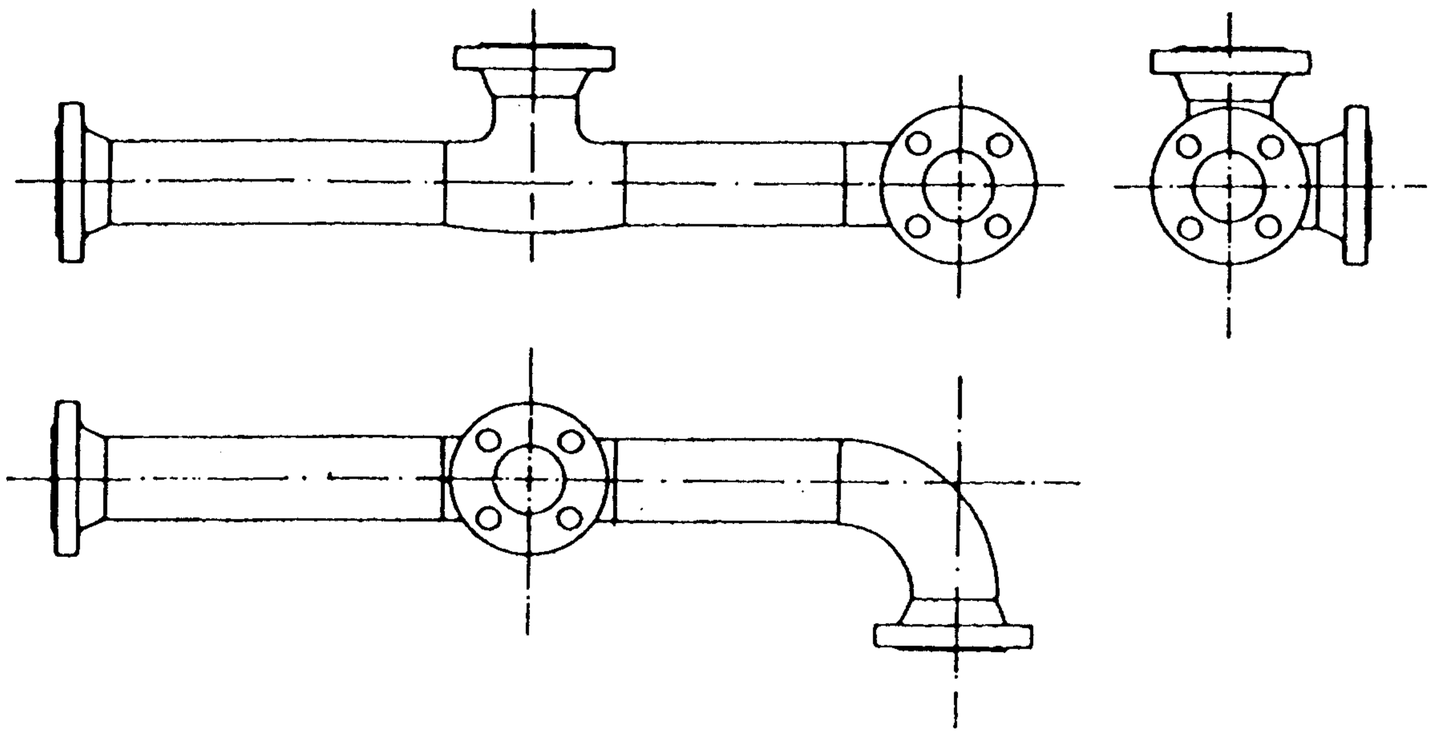


Fig. 15.2 Posição correta dos flanges.

que as direções ortogonais norte-sul e leste-oeste de projeto passem pelo meio do intervalo entre dois parafusos vizinhos; os flanges com face no plano vertical devem ser sempre colocados de forma que a linha vertical passe também pelo meio do intervalo entre dois parafusos. O número de parafusos dos flanges é sempre um múltiplo de quatro, assim, em cada quadrante determinado pelas direções norte-sul e leste-oeste, ou vertical, deve haver igual número de parafusos posicionados simetricamente, como mostra a Fig. 15.2. Essa regra, que é universal, vale não só para os flanges das tubulações como também para os flanges dos vasos e equipamentos.

5. *Tolerâncias de pré-montagem* — A Fig. 15.3 mostra as tolerâncias geralmente admitidas na pré-montagem de peças de tubulação. As peças pré-montadas com um extremo para solda de ajustagem no campo devem ser deixadas com esse extremo liso, sem chanfro, e com um certo comprimento a mais do que o comprimento de projeto. A Fig. 15.3 mostra também os valores usuais desse comprimento adicional.

As faces dos flanges não devem apresentar qualquer concavidade depois da soldagem; para flanges de 4″, ou maiores, pode ser tolerada uma ligeira convexidade, com um máximo de 1 mm, para faces com ressalto, e de 0,2 mm, para face para junta de anel.

Como já foi referido no Item 13.7, não é usual considerar a espessura das juntas entre os flanges, quando igual ou inferior a 1,5 mm.

Em peças pré-montadas onde existam muitas soldas, deve ser levado em conta o efeito de contração das soldas.

6. *Tubos com solda longitudinal* — Quando se empregam tubos com solda longitudinal, deve-se posicionar a solda para não interferir com derivações, drenos, respiros etc. Em dois tubos sucessivos soldados a topo, as soldas devem estar defasadas se possível de 180°, e no mínimo de 150 mm, medidos sobre a superfície do tubo.

7. *Derivações soldadas* — O corte no tubo-tronco para as derivações soldadas pode ser obtido por maçarico ou por goivagem. A derivação deve ser preparada para assentar perfeitamente sobre o tubo-tronco, permitindo-se um desvio máximo de um milímetro em qualquer ponto. O anel de reforço, quando utilizado, deve também ser conformado para boa adaptação sobre o tubo-tronco, não podendo apresentar aberturas superiores a 1,5 mm; a solda do anel de reforço só deve ser feita depois de inspecionada e reparada — quando for o caso —, a solda entre o tubo-tronco e a derivação.

Nos tubos derivação de diâmetro de 2″, ou maior, deve-se prever uma solda circunferencial de topo a uma distância máxima de 150 mm, medidos a partir da geratriz próxima do tubo-tronco. Essa solda será executada somente depois de inspecionada — e reparada, se for o caso —, a solda da derivação no tubo-tronco, permitindo-se assim a inspeção interna dessa solda.

As luvas para as derivações de pequeno diâmetro devem também ser preparadas para a perfeita adaptação ao tubo-tronco, não deixando aberturas superiores a 1,5 mm.

8. *Correção de peças defeituosas* — Os defeitos superficiais em tubos, flanges e conexões de tubulação podem ser corrigidos por esmerilhamento ou usinagem desde que seja possível remover completamente o defeito, mantendo a espessura da peça ainda superior ao exigido pelo cálculo, considerando-se a margem para corrosão.

9. *Pré-montagem com gabaritos* — Para a pré-montagem de peças de tubulação é muito útil a utilização de gabaritos (jigs), que servem para controlar com mais rigor as medidas das peças, dar as posições exatas dos flanges, e diminuir os efeitos de contração e distorção causados pela

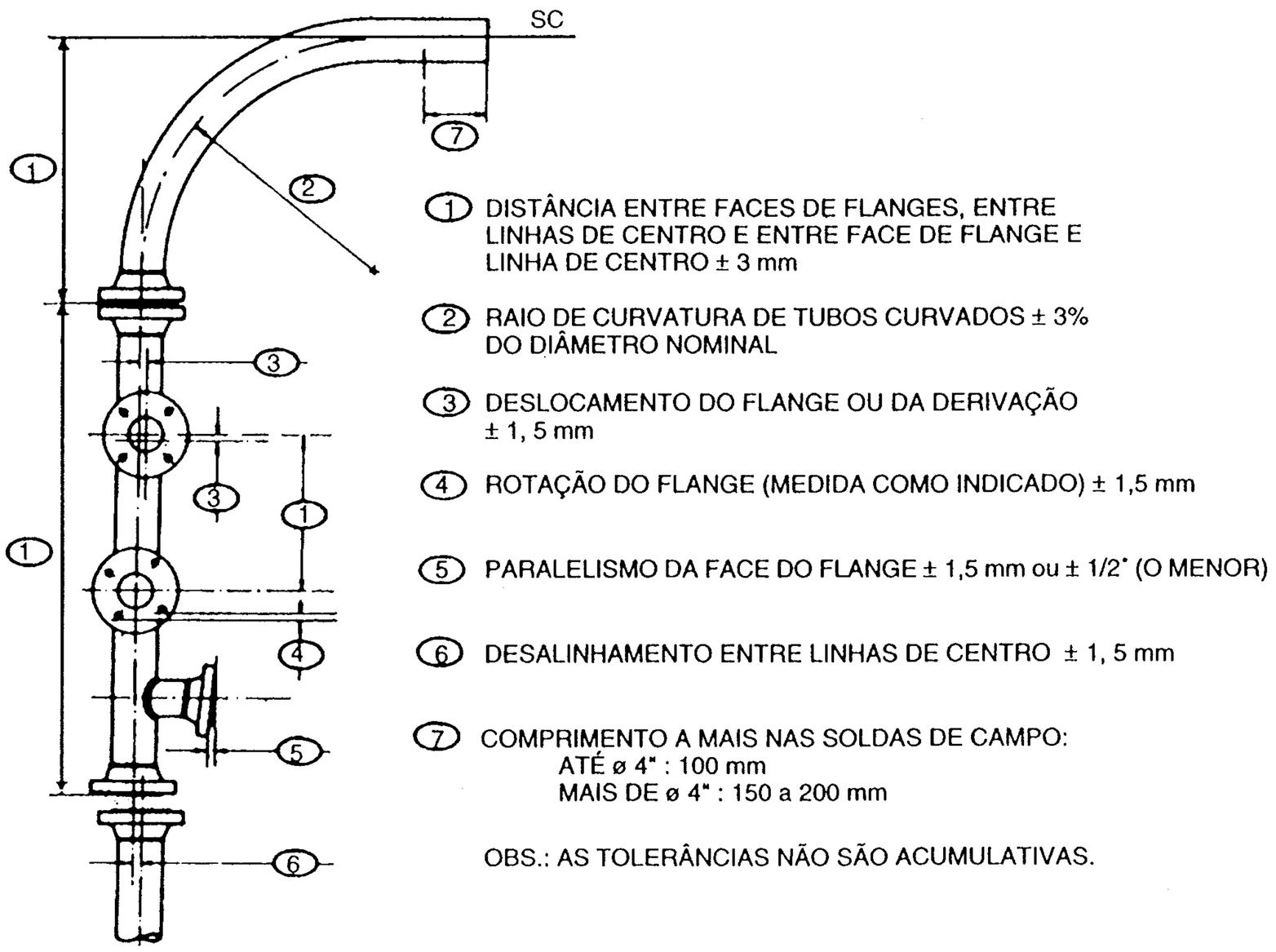


Fig. 15.3 Tolerâncias de pré-montagem de tubulações.

soldagem. Os gabaritos também auxiliam e apressam a prémontagem nos casos em que se tenham várias peças iguais. Quando se usam gabaritos, colocam-se todos os pedaços de tubos, flanges, conexões etc. sobre uma bancada ou um estrado, e fixam-se com pontos de solda os diversos elementos entre si e ao gabarito. A construção de curvas em gomos, bocas-de-lobo, e outras peças fabricadas por corte a maçarico, fica também muito facilitada com o uso de gabaritos de chapa fina dando o formato do corte planificado. Estende-se o gabarito sobre o tubo, ponteia-se para fixá-lo, e transfere-se, com o punção, a marcação para o tubo.

10. *Proteção e estocagem das peças pré-montadas* — Todos os flanges devem ser cobertos por uma proteção de madeira ou material de resistência equivalente, fazendo às vezes de flange cego, para evitar danos na face do flange, antes, durante e depois da montagem.

A estocagem e o transporte das peças pré-montadas devem ser feitos com o devido cuidado para evitar amassamentos, empenos e outros danos, principalmente para tubos de pequeno diâmetro. Recomenda-se que todas as partes usinadas (faces de flanges, roscas, parafusos, chanfros para solda etc.) sejam recobertas com graxa ou compostos especiais contra a corrosão (verniz de resina vinílica, por exemplo), enquanto aguardam a montagem.

15.3 SOLDAS

Todas as soldas devem ser feitas com o procedimento de soldagem adequado ao material que está sendo soldado.

Denomina-se "procedimento de soldagem" a descrição detalhada de todos os parâmetros relativos a uma determinada solda, tais como posição da solda, geometria da solda e dos chanfros, tipo e espessura do material a soldar, processo de soldagem, material, tipo e dimensões de eletrodos, fluxos e outros consumíveis, tipos de preparação, número e seqüência de passes, intensidade e polaridade da corrente elétrica, exigências de pré- ou pós-aquecimento e de alívio de tensões etc. Para cada variação significativa de qualquer um desses parâmetros teremos um procedimento diferente, que deverá ser devidamente qualificado.

As normas da A.W.S. (American Welding Society), e as especificações de soldagem de diversos projetistas, usuários, montadores e outras organizações, trazem recomendações e exigências detalhadas para cada um dos pontos acima, e devem ser consultadas e obedecidas em todos os casos em que forem aplicáveis.

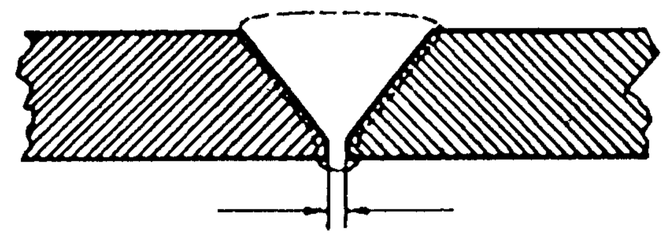
Antes de se iniciar qualquer serviço de soldagem em tubulações industriais de alguma responsabilidade, deve ser feita a qualificação de todos os procedimentos de soldagem e de todos os soldadores e operadores de máquinas de soldagem que serão empregados. Essas qualificações, que consistem em uma série de testes estabelecidos e padronizados por diversas normas, têm por finalidade verificar a adequação dos procedimentos de soldagem e avaliar a capacitação profissional de cada soldador ou operador, em relação ao material a solda, tipos de solda, e a todas as demais variáveis de cada caso em particular.

A qualificação prévia dos procedimentos de soldagem e dos soldadores e operadores é uma exigência comum a todas as normas. Em serviços de grande duração, os testes de qualificação devem ser repetidos periodicamente, exigindo as normas que em qualquer caso seja mantido um registro formal desses testes. A norma ASME B.31 (Seções 1 e 3) determina que os testes de qualificação devem ser feitos como especificado em detalhe da Seção IX do Código ASME para caldeiras e vasos de pressão.

Um outro trabalho obrigatório a ser feito antes de qualquer soldagem é a limpeza completa do material a soldar, removendo-se ferrugem, carepas, tintas, óleo, graxas etc. Essa limpeza deve ser feita em uma faixa de pelo menos 13 mm de largura a partir da solda, para os metais ferrosos, e 51 mm, para os não-ferrosos.

Os chanfros para soldas de topo devem ter os perfis já mencionados no Cap. 3 (Fig. 3.2). A abertura da raiz da solda (fresta), para permitir uma boa penetração, deve ser tanto maior quanto maiores forem o diâmetro e a espessura da parede do tubo. A Fig. 15.4 mostra alguns valores mais usuais adotados para a fresta, embora esses valores variem bastante, conforme a prática de cada montador. De acordo com a norma ASME B.31.3, o desalinhamento máximo permissível entre duas peças a soldar de topo é de 1,6 mm, como também mostra a Fig. 15.4. Caso se tenha um desalinhamento maior, devido principalmente à ovalização dos tubos, recomenda-se que a parede de um dos tubos seja usinada ou esmerilhada, devendo a operação ser feita, de preferência, na face interna do tubo. É importante que a espessura da parede não fique depois inferior ao mínimo necessário, considerando-se inclusive a margem para corrosão.

Como as soldas de topo em tubos só podem ser feitas pelo lado externo, a primeira camada de solda (cordão de raiz) é particularmente importante, devendo ser executada com o máximo de cuidado para evitar a ocorrência de



VALORES USUAIS DA FRESTA PARA SOLDA DE TOPO (mm)

DIÂM. NOM. DO TUBO	ESPESSURAS	
	STD	XS
2"	1,5	4,5
3" e 4"	3,0	4,5
6" @ 24"	4,5	6,0

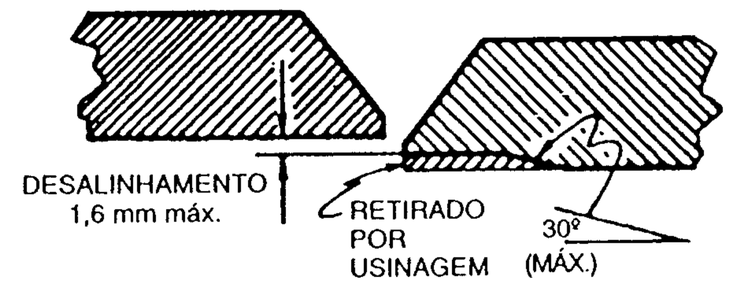


Fig. 15.4 Frestas de solda e desalinhamento admissível.

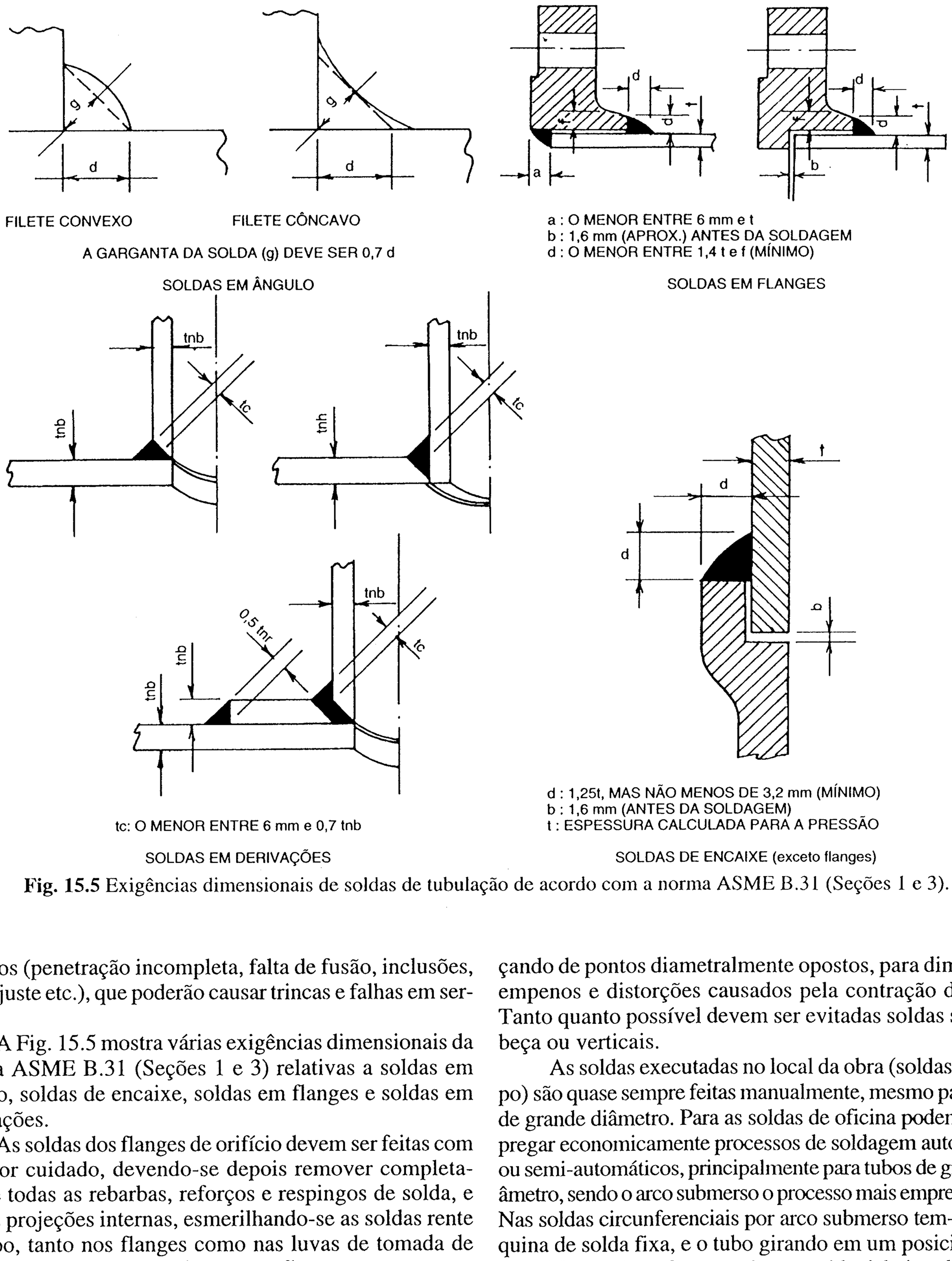


Fig. 15.5 Exigências dimensionais de soldas de tubulação de acordo com a norma ASME B.31 (Seções 1 e 3).

defeitos (penetração incompleta, falta de fusão, inclusões, mau ajuste etc.), que poderão causar trincas e falhas em serviço.

A Fig. 15.5 mostra várias exigências dimensionais da norma ASME B.31 (Seções 1 e 3) relativas a soldas em ângulo, soldas de encaixe, soldas em flanges e soldas em derivações.

As soldas dos flanges de orifício devem ser feitas com o maior cuidado, devendo-se depois remover completamente todas as rebarbas, reforços e respingos de solda, e outras projeções internas, esmerilhando-se as soldas rente ao tubo, tanto nos flanges como nas luvas de tomada de pressão, para evitar perturbações no fluxo.

O cordão de solda interno nos flanges sobrepostos deve ficar afastado 3 mm da face do flange, devendo a solda ser executada de forma a não ser necessário nenhum reparo na face do flange.

As soldas muito extensas, como é o caso das soldas circunferenciais em tubos de grande diâmetro, devem ser feitas simultaneamente por dois ou mais soldadores começando de pontos diametralmente opostos, para diminuir os empenos e distorções causados pela contração da solda. Tanto quanto possível devem ser evitadas soldas sobrecabeça ou verticais.

As soldas executadas no local da obra (soldas de campo) são quase sempre feitas manualmente, mesmo para tubos de grande diâmetro. Para as soldas de oficina podem-se empregar economicamente processos de soldagem automáticos ou semi-automáticos, principalmente para tubos de grande diâmetro, sendo o arco submerso o processo mais empregado(*). Nas soldas circunferenciais por arco submerso tem-se a máquina de solda fixa, e o tubo girando em um posicionador.

Não se deve fazer nenhuma solda debaixo de chuva, de nevoeirfo, de neve, ou de vento forte. Quando a tempe-

(*) Para o emprego de soldagem automática, é necessário que os chanfros sejam usinados com precisão, porque o cabeçote de solda e todo o sistema de deposição de metal de adição não têm condições de corrigir eventuais defeitos na geometria dos chanfros, ainda que pequenos. Na soldagem manual, pelo contrário, permite-se menor precisão na preparação e ajustagem dos chanfros, porque o soldador está vendo o campo de solda, e pode praticar qualquer movimento de correção.

ratura do metal estiver abaixo de 10°C, convém que sejam empregados eletrodos de baixo hidrogênio e feito um preaquecimento na região das soldas. O preaquecimento e/ou o pós-aquecimento podem também ser necessários como tratamento térmico das soldas. Veja Item 15.5, adiante, neste capítulo.

Os pontos de solda necessários para a fixação prévia de tubos, curvas, flanges, e outras peças a soldar devem sempre ser feitos somente por soldadores qualificados, com procedimentos também qualificados, e com os mesmos cuidados das soldas definitivas, para que esses pontos possam ficar incorporados nas soldas. Essas mesmas exigências e precauções aplicam-se igualmente a todas as outras soldas feitas sobre qualquer parte da tubulação, tais como as soldas provisórias para fixação de andaimes, escoramentos, cabo-terra etc. Quando não feitas com todos esses cuidados, as soldas provisórias são freqüentemente uma grande fonte de defeitos e insucessos, podendo introduzir graves tensões localizadas, provocar alterações metalúrgicas prejudiciais, além de constituírem pontos de possível início de fraturas frágeis e de trincas de corrosão sob tensão. Recomenda-se, por esse motivo, que essas soldas sejam sempre reduzidas ao mínimo indispensável. Quando se fazem soldas de vedação de roscas, não se deve usar nenhum composto ou fita vedante na rosca.

Em princípio, devem ser evitadas todas as soldas dissimilares na tubulação, isto é, todas as peças soldadas diretamente à tubulação, tanto soldas definitivas (patins, ancoragens, olhais de sustentação etc.), como soldas provisórias (grampos, suportes provisórios, dispositivos de soldagem etc.), devem ser, tanto quanto possível, do mesmo material dos tubos, ou, quando muito, de um material de mesmo "Número P", como definido na norma ASME B.31 (veja Tabelas 15.1 e 15.2). As soldas dissimilares são sempre indesejáveis e causas freqüentes de graves problemas. Na prática essa recomendação é difícil de ser observada quando a tubulação é de material diferente do aço-carbono, nesse caso, as inevitáveis soldas dissimilares devem ser feitas com as devidas precauções, para evitar danos ao material.

As soldas em aços inoxidáveis e em muitos dos metais não-ferrosos devem, de preferência e sempre que possível, ser feitas em recinto fechado e com atmosfera limpa e controlada (soldagem em *clean condition*), para evitar a contaminação do metal depositado por partículas de ferrugem, fumaças, poeiras etc.

Em quaisquer soldas de duas chapas sobrepostas como, por exemplo, no caso de chapas de reforço em derivações, deve ser sempre feito um pequeno furo rosqueado de 6 mm de diâmetro, na chapa externa, para permitir a realização de um teste de pressão com ar comprimido entre as duas chapas, para a verificação da solda. Esses furos devem ser deixados abertos e preenchidos com graxa.

As normas exigem que cada soldador ou operador de máquina de solda deva estampar, adjacente à solda e a intervalos determinados, uma marca individual que caracterize o seu trabalho. O montador deve também manter um registro permanente de todos os soldadores e operadores a seu serviço, com as marcas de identificação de cada um,

A armazenagem e a guarda de elétrodos e outros consumíveis de solda, tanto na oficina como no campo, devem ser feitas sempre em recintos fechados, com atmosfera seca e aquecida, ou, de preferência, em estufas aquecidas (todos com temperatura controlada), para evitar a absorção de umidade que pode inutilizar os elétrodos. Existem estufas aquecidas portáteis, para uso de cada soldador durante o serviço.

15.4 Exames Não-Destrutivos das Soldas

Todas as soldas de tubulação, depois de completadas, devem ser submetidas a exames não-destrutivos para a pesquisa de possíveis defeitos. Em ordem crescente de confiabilidade são os seguintes os métodos de inspeção empregados na prática:

- Inspeção visual (sem ou com auxílio de aparelhos óticos ou de iluminação especial).
- Inspeção com líquidos penetrantes (dye-check).
- Inspeção com partículas magnéticas (magnetic particles).
- Inspeção radiográfica: parcial (por amostragem) ou total.
- Inspeção por ultra-som.

Qualquer que seja o método — ou os métodos — de inspeção empregado, é sempre exigido que antes de sua realização seja feita a qualificação dos procedimentos de exame e dos operadores e inspetores, para cada método e cada tipo de solda, com a finalidade de avaliar a adequação dos métodos de exame e a capacidade profissional das pessoas envolvidas. Esses testes de qualificação estão detalhadamente descritos nas normas.

A inspeção visual é sempre exigida e deve ser feita obrigatoriamente em todas as soldas. Essa inspeção, quando feita cuidadosamente e por pessoa experiente, é capaz não só de descobrir os defeitos superficiais (trincas, mordeduras, reforços excessivos etc.), como também indicar os locais de prováveis defeitos internos, denunciados por irregularidades no cordão de solda. Esses locais deverão ser por isso os escolhidos para a realização dos exames adicionais com radiografia, ultra-som ou outros processos. Por essa razão o exame visual deve ser obrigatório para todas as soldas, mesmo quando devam ser empregados também outros métodos de inspeção.

Para tubulações de responsabilidade recomenda-se fazer também a inspeção visual das soldas pelo lado interno dos tubos. Existem aparelhos óticos que permitem essa inspeção mesmo em tubos de pequeno diâmetro.

A norma ASME B.31.3 permite que, para as tubulações de "Categoria D" (veja Item 2.7), seja feita apenas a inspeção visual das soldas, seguida pelo teste de pressão hidrostática, como veremos no Item 15.12.

A inspeção com partículas magnéticas e a inspeção com líquidos penetrantes servem para detecção de defeitos superficiais ou defeitos internos abertos para a superfície, recomendando-se como métodos auxiliares de inspeção em soldas de responsabilidade ou com materiais difíceis de soldar. O processo de partículas magnéticas é capaz também de apontar alguns defeitos subsuperficiais, devendo ser usado de preferência. Esse método de inspeção só pode evidentemente ser empregado com materiais ferromagnéticos, não se aplicando portanto aos aços inoxidáveis austeníticos e aos metais não-ferrosos. Devido ao seu baixo custo e facilidade de execução, a inspeção com líquidos penetrantes é muito usada para o exame de cada camada de solda (antes da deposição da camada seguinte), em particular para o passe de raiz. É muito recomendável que essa inspeção seja feita rotineiramente em todas as soldas de aços-liga, aços inoxidáveis, aços-carbono para baixas temperaturas, e aços-carbono com teor de carbono acima de 0,3%.

A inspeção radiográfica (com raios X ou raios γ) é há muito tempo um processo corrente de exame de soldas. Esse exame é de emprego e interpretação relativamente fáceis e é capaz de detectar defeitos internos nas soldas tais como trincas, dupla laminação, fusão incompleta, bolhas, poros, inclusões de escória etc. As trincas e outros defeitos bidimensionais (chamados de "defeitos planares") são os mais graves, porque podem apresentar um nível muito elevado de tensões nas bordas do defeito, e resultar assim em fraturas frágeis, fraturas por fadiga ou por corrosão sob tensão; por esse motivo esses defeitos não são tolerados pelas normas em nenhum caso, qualquer que seja o tipo e a extensão do defeito. Note-se que dependendo da posição relativa do defeito e da fonte de radiação, a radiografia pode ser incapaz de assinalar o defeito. Por esse motivo, em soldas de alta responsabilidade pode ser recomendável realizar, em cada ponto, duas radiografias a 90° uma com a outra.

Os defeitos arredondados (tridimensionais), tais como poros, bolhas, inclusões de escória, e fusão ou penetração incompletas, são defeitos menos graves, e por isso são tolerados pelas normas dentro de certos limites detalhadamente especificados. A norma ASME B.31 (Seções 1 e 3), por exemplo, contém mapas indicando os limites aceitáveis desses defeitos nos diversos tipos de soldas em tubulações: solda circunferencial e longitudinal de topo, soldas de curvas em gomos, soldas de derivações, soldas de ângulo etc. Defeitos superficiais como mordeduras ou reforços excessivos, bem como mau acabamento superficial, também são tolerados dentro de certos limites.

Uma das grandes vantagens da radiografia sobre os outros processos de inspeção é o fato de a inspeção resultar em documentos permanentes, que são os filmes radiográficos.

O ultra-som é um processo bem mais sensível e mais moderno do que a radiografia, não havendo praticamente nenhum defeito significativo que possa passar despercebido; o seu emprego e interpretação são entretanto bem mais difíceis, e por isso o seu uso é menos freqüente.

A Seção 1 da norma ASME B.31 (tubulações de vapor) exige radiografia total das soldas nas tubulações de mais de 2″ e exame com partículas magnéticas ou líquido penetrante nas tubulações menores, sempre que a temperatura de operação for superior a 400°C. A Seção 3 dessa norma (tubulações em refinarias, indústrias químicas e petroquímicas) exige radiografia em, no mínimo, 5% da extensão total das soldas circunferenciais (de cada soldador ou operador de soldagem), para tubulações com temperatura de operação acima de 185°C, ou pressão acima de 10 kg/cm^2, devendo de preferência serem radiografadas as interseções de soldas. Para tubulações de "Categoria M" (veja Item 2.7), é exigido um mínimo de 20% dessas radiografias, e para serviços altamente cíclicos (mais de 7.000 ciclos) é exigida a radiografia total das soldas, ou o exame com ultra-som em toda extensão das soldas.

Muitos projetistas e usuários fazem exigências bem mais severas do que o mínimo das normas: é usual, por exemplo, exigir-se a radiografia parcial, por amostragem, de pelo menos 5% da extensão total das soldas de topo em todas as tubulações de certa responsabilidade. É usual também exigir-se a radiografia total das primeiras soldas realizadas por cada soldador.

A PETROBRÁS faz, em resumo, as seguintes exigências de inspeção para tubulações de processo, de acordo com o material e a classe de pressão dos flanges:

- Aço-carbono, classe 150#, margem para corrosão até 3 mm: Radiografia em 5% da extensão total das soldas.
- Aço-carbono (classe 300#, margem até 3 mm), aço-liga 1/2 Mo (classes 150# e 300#), aços inoxidáveis austeníticos (classe 150#, temperaturas até 185°C): Exame com partículas magnéticas ou líquido penetrante em todas as soldas, radiografia em 10% da extensão total das soldas.
- Aço-carbono (classe 600# ou margem acima de 3 mm), aço-liga 1/2 Mo (classe 600#), aços-liga até 9% Cr (classes 150# e 300#), aços inoxidáveis austeníticos (classes 300# a 600#, temperaturas até 185°C): Idem, como acima, e radiografia em 20% da extensão total das soldas.
- Aço-carbono (classes 900# a 2.500#), aços-liga Cr-Mo para classes de pressão mais altas, aços-liga Ni, aços inoxidáveis austeníticos para classes de pressão ou temperaturas mais altas: Idem, como acima, e com radiografia total das soldas.

As trincas e outros defeitos inaceitáveis detectados nas soldas devem ser sempre reparados; após o reparo a solda deve ser reinspecionada. Alguns defeitos superficiais, tais como mordeduras, reforços excessivos, trincas pouco profundas etc., podem ser removidos por esmerilhamento local, desde que a espessura restante não seja inferior ao valor mínimo de projeto. Outros defeitos só podem ser reparados abrindo-se mecanicamente, ou por outros meios (eletrodo de carvão, laser etc.), o local até a remo-

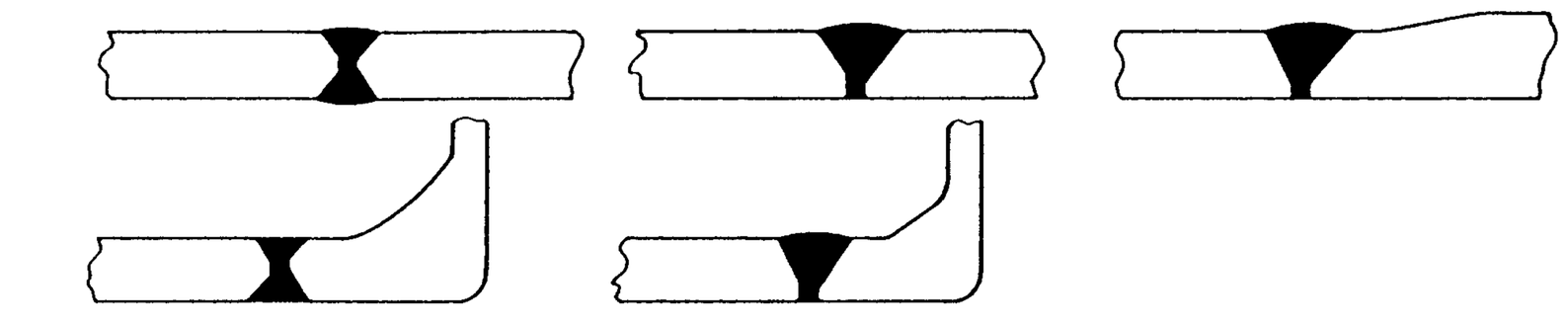


Fig. 15.6 Exemplos de soldas facilmente radiografáveis ou não.

ção completa do defeito, e refazendo-se depois a solda, que deverá ser novamente examinada.

Quando for exigida radiografia total das soldas, deve-se cuidar para que o maior número possível de soldas seja de tipo facilmente radiografável; deve-se também, nesse caso, realizar o exame com partículas magnéticas ou com líquido penetrante em toda a extensão das soldas para as quais a radiografia seja impossível ou deficiente. A interpretação do exame radiográfico é difícil ou falha nas seguintes circunstâncias:

— espessura muito pequena (inferior a 5 mm).
— soldas de penetração parcial ou com vazios internos; soldas em ângulo.
— soldas entre partes com grande diferença de espessura.
— soldas de geometria complicada: juntas em T, de canto, em cruzeta, etc.

A Fig. 15.6 mostra exemplos de soldas facilmente radiografáveis ou não.

Para tubulações em serviços de baixa temperatura, onde sejam exigidos testes de impacto (testes Charpy), esses ensaios devem ser feitos obrigatoriamente em corpos de prova contendo soldas de mesmo tipo das soldas empregadas na tubulação.

Tanto o exame radiográfico como o ultra-sônico devem ser feitos pelo menos 48 horas depois de completada a solda, a fim de dar tempo para o escapamento natural do hidrogênio que tenha ficado retido.

15.5 Tratamentos Térmicos

Dois tipos de tratamentos térmicos costumam ser feitos nas soldas de tubulações: preaquecimento — e/ou pós-aquecimento —, e alívio de tensões (stress-relieving); esses dois tratamentos podem ser feitos isolada ou sucessivamente na mesma solda.

O preaquecimento consiste no aquecimento prévio local do material, na região a ser soldada, e no aquecimento entre um passe e outro da solda, até a completação da soldagem. O preaquecimento destina-se a evitar o resfriamento muito rápido do material após a soldagem que pode causar endurecimento excessivo do aço (formação de martensita por têmpera) e o aparecimento de trincas, que se observa em muitos materiais, principalmente nos primeiros cordões de solda. O preaquecimento é também exigido, em qualquer caso, para a soldagem de materiais que estejam em temperatura abaixo de 10°C, A Tab. 15.1 mostra as recomendações usuais e as exigências mínimas da norma ASME B.31.3, quanto ao preaquecimento, para vários aços de uso corrente. O "Número P" (P-Number), que aparece na tabela, é um índice adotado pela norma ASME B.31 para classificar materiais quanto à soldabilidade; materiais que tenham o mesmo "Número P" podem ser soldados entre si sem inconvenientes, não sendo a solda considerada como dissimilar.

A espessura a ser considerada para a verificação da necessidade ou não de tratamento térmico é a maior espessura existente através das soldas; no caso de soldas sobrepostas, soldas em "T", e soldas em derivações, essa espessura é em geral bem maior do que a espessura da tubulação.

Todas as peças metálicas, principalmente as de grande espessura, quando soldadas apresentam ao esfriar severas contrações devido ao ciclo térmico de soldagem que resultam em tensões residuais freqüentemente acima do limite de escoamento. Essas tensões são evidenciadas pelos desalinhamentos e flambagens, principalmente em tubos fi-

Tabela 15.1
Exigências de Preaquecimento para a Soldagem

Material	*Número P*	*Espessura (mm)*	*Limite de resistência mínimo (MPa)*	*Temperatura mínima de preaquecimento (°C)*	
				Exigida	*Recomendada*
Aço-carbono (qualquer aço-carbono)	1	até 25	até 490	—	10
		⩾ 25	todos	—	80
		todas	⩾ 490	—	80
Aço-liga ½ Mo	3	⩾ 12	todos	—	10
		todas	⩾ 490	—	80
Aços-liga 1 Cr-½Mo e 1 ¼ Cr-½ Mo	4	todas	todos	150	150
Aços-liga 2 Cr-½Mo a 9 Cr-1 Mo	5	todas	todos	175	175
Aços inoxidáveis martensíticos	6	todas	todos	—	150
Aços inoxidáveis ferríticos	7	todas	todos	—	10
Aços inoxidáveis austeníticos	8	todas	todos	—	10
Aços-liga Ni	9	todas	todos	—	95

nos ou mal suportados. As tensões residuais serão tanto maiores quanto maior for a quantidade de solda depositada (o que depende da espessura do tubo e da geometria do chanfro), quanto mais rígida for a peça e mais assimétricos forem o chanfro e a seqüência de soldagem e vice-versa. Assim, para reduzir essas tensões, procura-se diminuir a área transversal do chanfro (o que contribui também para a economia de solda) e adotar chanfros e seqüência o mais simétricos possível.

Para tubos muito rígidos, de grande espessura, ou de materiais difíceis de soldar, é necessário o tratamento térmico de alívio de tensões que consiste no aquecimento, depois da soldagem, de toda peça, ou pelo menos de toda região afetada pela solda, até uma temperatura abaixo da temperatura de transformação do aço, mantendo-se a peça nessa temperatura durante algum tempo, seguindo-se um resfriamento lento até a temperatura ambiente. Esse tratamento tem por finalidade reduzir as tensões residuais decorrentes da soldagem ou de trabalhos de deformação a frio (encurvamento, por exemplo), pela plastificação do metal devido à diminuição da resistência mecânica com a temperatura; serve também como um recurso para o controle da corrosão sob tensão. A Tab. 15.2 mostra as recomendações de prática usual e as exigências mínimas da norma ASME B.31.3, sobre o alívio de tensões, bem como os valores de dureza máxima final admitida nas soldas ou nas regiões termicamente afetadas pela solda.

Chama-se atenção que para os aços inoxidáveis austeníticos o tratamento térmico de alívio de tensões só pode ser feito com os aços não-sensitizáveis (isto é, aços estabilizados, tipos 321, 347, etc. e aços de baixo-carbono, tipos "L" e "ELC"); para os demais inoxidáveis austeníticos o alívio de tensões não deve ser feito, porque resultaria em sensitização do material que prejudica gravemente a resistência à corrosão desses aços.

O preaquecimento é sempre feito a maçarico, devendo ser mantida a temperatura especificada em uma faixa, para cada lado da solda, com uma largura mínima de cinco vezes a espessura do material, com um mínimo de 25 mm. O alívio de tensões pode ser feito por resistência elétrica ou em fornos especiais, onde a peça entra inteira; este último processo, que é o melhor, só pode ser empregado para as soldas de oficina. Exceto para o tratamento em fornos, a região a ser tratada deve ser recoberta com isolante térmico para homogeneizar o aquecimento. Quando houver necessidade de qualquer tratamento térmico, deve-se fazer todo o possível para que o maior número de soldas seja realizado na oficina, onde os recursos para execução e controle dos tratamentos térmicos são mais fáceis e mais garantidos. Em qualquer caso, é muito importante o perfeito controle da temperatura máxima de aquecimento, do tempo de permanência nessa temperatura e das taxas de subida e descida da temperatura, para evitar tanto temperaturas excessivas que podem prejudicar gravemente o material, como as insuficientes, que não são capazes de aliviar devidamente as tensões. O tempo de permanência na temperatura máxima não deve ultrapassar o recomendado, para evitar o crescimento exagerado dos grãos e a descarbonetação superficial. O resfriamento lento é um ponto muito importante, porque

Tabela 15.2
Exigências para Tratamento Térmico de Alívio de Tensões Após a Soldagem

Material	Número P	Espessura limite mínima (mm)		Limite de resistência mínimo (MPa)	Temperatura de tratamento (°C)		Duração do tratamento		Dureza máxima nas soldas (Brinell)
		(1)	(2)		(1)	(2)	Horas por 2,5 mm de espessura	Mínimo (Horas)	
Aços-carbono (qualquer aço-carbono)	1	até 19 ≥ 19		todos todos	— 595 a 650		— 1	— 1	— —
Aço-liga ½ Mo	3	até 19 ≥ 19 todas	todas todas todas	até 490 todos ≥ 490	— 595 a 720	595 a 720	1	1	225
Aços-liga 1 Cr-½Mo e 1 ¼ Cr-½Mo	4	até 12 ≥ 12 todas	todas todas todas	até 490 todos ≥ 490	— 705 a 745	705 a 745	1	2	225
Aços-liga 2 Cr-½ Mo a 9 Cr-1Mo	5	até 12 e até 3% Cr e até 0,15% C > 12 ou > 3% Cr ou > 0,15% C	todas todas	todos todos	— 705 a 760	705 a 760	1	2	241
Aços inoxidáveis martensíticos	6	todas		todos	730 a 790		1	2	241
Aços inoxidáveis ferríticos	7	todas		todos	—		—	—	—
Aços inoxidáveis austeníticos	8	todas		todos	O alívio de tensões é desaconselhado para os tipos não estabilizados e os de carbono normal, devido ao risco de sensitização.				
Aços-liga Ni	9	até 19 > 19	todas todas	todos	— 595 a 635	595 a 635	½	1	—

Notas: As colunas marcadas (1) indicam as exigências mínimas da norma ASME B.31.3.
As colunas marcadas (2) indicam os valores de prática usual.

afeta a resistência à tração, à fadiga e a resistência ao impacto do material. Durante toda a operação a peça deve estar convenientemente suportada, para evitar empenos e deformações pelo próprio peso, devido à queda da resistência mecânica do material em temperatura elevada. Para o tratamento em fornos, é importante também evitar-se a incidência direta da chama sobre o material, e o controle da atmosfera interna do forno para que não haja excessiva oxidação do material.

Quando se faz tratamento térmico de uma solda no campo, deve-se tomar cuidado com os efeitos nocivos que possa ter o referido tratamento (aquecimento, dilatações, contrações etc.) sobre equipamentos ou peças de outros materiais que estejam próximos da solda em questão. É muito importante que o tratamento térmico de alívio de tensões seja efetuado somente depois de completadas todas as soldas, porque qualquer solda feita depois, inclusive as pequenas soldas para patins, ancoragens, batentes etc., bem como soldas provisórias de fixação ou para andaimes, escoramentos etc., inutiliza o alívio de tensões, obrigando a execução de um novo tratamento térmico. O alívio de tensões deve ser sempre feito antes do teste hidrostático (veja Item 15.12).

15.6 Preparação para a Montagem de Tubulações

Antes de ser iniciada a montagem de qualquer sistema de tubulações devem ser — ou devem já estar — instalados sobre as suas bases todos os equipamentos ligados à rede de tubulações; vasos, tanques, reatores, trocadores de calor, bombas, compressores etc.; note-se que todos os equipamentos devem ter bases próprias, não se admitindo que fiquem pendurados ou suportados pelas tubulações.

Todos esses equipamentos devem ser colocados em suas posições exatas, depois de alinhados e nivelados, devendo a sua locação em planta e em elevação ser cuidadosamente verificada por meio de instrumentos de topografia, corrigindo-se previamente, se necessário, qualquer erro que seja observado. É muito importante o máximo rigor e precisão nessa locação, porque os bocais desses equipamentos, onde se ligam as tubulações, servirão de pontos de

partida e de orientação para toda a montagem futura dos tubos, e, assim, um pequeno desvio que haja na posição de qualquer equipamento poderá resultar em grave erro na posição das tubulações.

Todo sistema de suportes deve também estar completamente pronto antes de ser iniciada a montagem das tubulações, para diminuir ao mínimo a necessidade de suportes provisórios de montagem. A completação antecipada dos suportes definitivos tem também a vantagem de evitar que a construção dos mesmos fique inteiramente a critério do pessoal de montagem, à medida que as necessidades forem surgindo. Os suportes devem estar perfeitamente alinhados e nivelados, de modo que os tubos se apóiem por igual e naturalmente em todos os pontos. Um ponto de apoio desnivelado causará desigualdade na distribuição de cargas, introduzindo tensões imprevistas e às vezes elevadas, nos tubos e nos próprios suportes. Por esse motivo, a verificação do alinhamento e nivelamento dos suportes deve também ser feita com rigor, por instrumentos de topografia, corrigindo-se antecipadamente o que não estiver certo.

Principalmente em obras grandes, deve-se programar com cuidado a seqüência de montagem, para evitar que a colocação de determinada seção de tubulação torne inacessível a colocação de outras. De um modo geral, deve-se começar pela montagem das tubulações de maior diâmetro e das que sejam ligadas diretamente a vasos e equipamentos. O uso de modelos reduzidos (em escala) facilita muito o estudo da seqüência de montagem, e da manobra de pesos e de veículos, principalmente em montagens complicadas ou em locais congestionados.

Em qualquer serviço de montagem é também muito importante o planejamento prévio de toda área da obra, isto é, o estudo da melhor disposição para o "canteiro da obra". Devem ser sempre previstas áreas adequadas para a oficina de pré-montagem, o escritório, o almoxarifado coberto (para peças pequenas ou valiosas), para a armazenagem das peças grandes e das peças pré-montadas etc. Para todas essas áreas deve ser estudado o necessário suprimento de água, de ar comprimido e de eletricidade, bem como previstas as facilidades para acesso e trânsito de pessoas, veículos e máquinas.

É igualmente necessário que antes de iniciados os serviços de montagem seja estabelecido um sistema de codificação dos materiais, e de controle dos recebimentos e saídas dos mesmos. Os tubos, válvulas e outras peças dos diversos tipos de aços-carbono e aços-liga, bem como das diferentes variedades de aços inoxidáveis, devem ser claramente marcados, peça por peça, de acordo com um código de cores estabelecido, para evitar possibilidades de enganos, uma vez que, como já foi enfatizado, para a maioria desses materiais é impossível a distinção visual. Em serviços de responsabilidade, onde um engano de materiais pode causar sérios prejuízos ou acidentes, a marcação das peças só deve ser feita depois de confirmado o tipo exato de material através de exame.

Em princípio não se devem estocar tubos e outros materiais grandes no local da obra, para não atrapalhar o trânsito de pessoas e veículos e não embaraçar a própria montagem. Não se devem deixar ao tempo materiais que possam ser danificados pela chuva. As extremidades das varas de tubo não devem ser deixadas abertas para evitar a entrada de terra e outros corpos estranhos, e também para não servirem de locais de guarda de ferramentas, elétrodos etc. Quando as varas de tubo tiverem de ser arrastadas pelo solo devem-se tomar precauções para impedir a entrada de terra.

A armazenagem das válvulas grandes é geralmente feita em áreas descobertas; deve-se, entretanto, tamponar os bocais das válvulas e tomar as devidas precauções para que as mesmas não fiquem semi-enterradas no solo ou cobertas pela vegetação. As válvulas devem sempre ficar fechadas e com a haste em posição vertical. O manuseio de tubos ou peças com revestimentos ou pinturas de proteção deve ser feito com o devido cuidado para não causar danos a esses revestimentos. Quaisquer materiais que sejam armazenados ao tempo, inclusive varas de tubos, válvulas, peças pré-fabricadas etc., devem ser colocados em tal posição que não dêem lugar a empoçamento de água da chuva.

O máximo de limpeza, ordem e arrumação deve ser mantido no local da obra para evitar enganos e acidentes, e também para melhorar a eficiência do trabalho.

15.7 Montagem de Tubulações

Antes de ser iniciada a montagem deve ser feita a limpeza de todas as peças pré-montadas e de todos os componentes avulsos (varas de tubos, válvulas etc.), bem como a inspeção dimensional das peças pré-montadas para verificar e corrigir possíveis erros de montagem e danos durante a estocagem e transporte.

Na montagem de tubulações é necessário que seja observado com o maior rigor possível o alinhamento entre as varas de tubo e as peças pré-montadas. Esse alinhamento deve ser mantido até que sejam completadas todas as soldas.

Se todo sistema de suportes já estiver completamente pronto e perfeitamente alinhado e nivelado, o alinhamento dos tubos é relativamente fácil de ser conseguido, bastando colocar as varas de tubo e peças pré-montadas nos respectivos suportes. Mesmo assim haverá quase sempre necessidade de construção de escoramentos provisórios para a sustentação de pequenas peças que não tenham suportes próprios, ou para auxiliar a sustentação de outras peças. Para a montagem de tubulações com isolamento térmico, devem ainda ser colocados, sobre os suportes definitivos, calços provisórios com a altura dos patins, para que as tubulações fiquem na elevação correta.

Os escoramentos provisórios devem ser seguros e bastante robustos para não fletirem com o peso das tubulações, fazendo com que fiquem fora da elevação de projeto. Esses escoramentos costumam ser feitos de madeira ou de perfis e tubos de aço; nesse último caso podem ser ponteados com solda entre si ou nos tubos a sustentar, para melhorar a rigidez e segurança.

Chama-se atenção que qualquer solda na parede dos

tubos só pode ser feita por soldador qualificado e com todos os devidos cuidados, inclusive as soldas provisórias de montagem ou de suportes. Tratando-se de materiais que exijam tratamento térmico de pré-aquecimento ou de alívio de tensões, essas soldas provisórias são desaconselhadas, devendo ser evitadas sempre que possível.

É muito importante que em nenhuma ocasião, durante a montagem, se tenham tubos ou outras peças em posição não suportada, fazendo peso ou introduzindo momentos sobre bocais de vasos, tanques, equipamentos, válvulas etc. Esses esforços, ainda que se exerçam por pouco tempo, podem causar danos consideráveis.

Para manter o alinhamento nas soldas de topo entre duas varas de tubo ou quaisquer acessórios, até que a soldagem seja concluída, podem ser empregadas braçadeiras removíveis — que prendem as extremidades das peças a soldar —, ou usadas barras chatas ou vergalhões que são fixados com pontos provisórios de solda a uma das peças, como mostra a Fig. 15.7. Como já chamamos atenção, é importante procurar reduzir ao mínimo o emprego de soldas provisórias na tubulação e evitar soldas dissimilares; por esse motivo, as barras e vergalhões empregados para o alinhamento de soldas devem ser do mesmo material da tubulação, ou material de mesmo "Número P". As barras e vergalhões devem ser removidos depois de completada a soldagem e esmerilhadas as soldas provisórias.

Exceto quando deva ser feito o pré-tensionamento (veja o livro "Tubulações Industriais — Cálculo", já citado, Item 5.6), é importante que as seções pré-montadas de tubos sejam colocadas nos respectivos lugares sem esforço.

Os desalinhamentos entre eixos de tubos, peças prémontadas etc., de até 20 mm podem ser corrigidos por aquecimento, seguido de resfriamento rápido, para tubos de aço-carbono, desde que não destinados a seviços em baixas temperaturas, serviços com hidrogênio, ou sujeitos à corrosão sob tensão.

Os desalinhamentos (devidos à ovalização) da parede de peças que devam ser soldadas a topo, de até 1,5 mm, podem ser corrigidos a frio, por meio de um macaco ou outro aparelho de força. Desalinhamentos maiores podem ser corrigidos por usinagem ou esmerilhamento da parede do tubo, como mostrado na Fig. 15.4, ou por martelamento a quente, devendo, nesse caso, ser feito um aquecimento local nas seguintes temperaturas, que devem ser rigorosamente controladas:

— aços-carbono: 620 a 680°C;
— aços-liga até 1 1/4% Cr: 620 a 720°C;
— aços-liga de 1 1/4 a 5% Cr: 680 a 720°C.

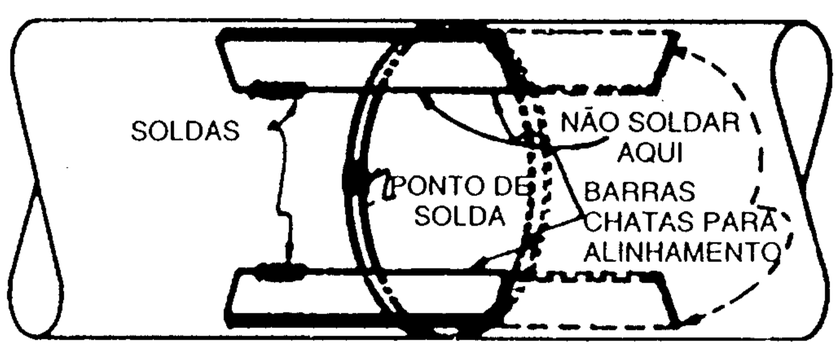


Fig. 15.7 Fixação provisória para solda de topo.

Como já foi observado no Item 15.1, a pré-montagem de peças de material diferente do aço-carbono deve ser a mais cuidadosa possível, com dimensões reais conferidas no local, para reduzir ao mínimo a necessidade desses ajustes.

O aperto dos flanges deve ser feito por igual e até a tensão recomendada, devendo-se começar o aperto pelos parafusos diametralmente opostos e depois igualmente distribuídos na circunferência do flange; a Fig. 15.8 mostra a seqüência recomendada de aperto para um flange com 12 parafusos. Não se deve procurar corrigir desalinhamentos entre flanges pelo aperto excessivo dos parafusos, porque não há parafusos ou flanges que resistam a um aperto exagerado. O aperto deve ser feito com as chaves adequadas ao tamanho dos parafusos. Não se deve nunca usar chaves com barras de extensão ou outros artifícios destinados a aumentar o esforço de aperto, porque tais recursos, além de causarem acidentes, só servirão para danificar os parafusos, os flanges, ou a própria chave. A compressão que se dá entre dois flanges deverá ser tanto maior quanto menor for a espessura da junta e maior for a dureza do material da mesma, como já vimos no Item 3.11. Existem tabelas que dão em função desses elementos, e do tamanho dos parafusos, o grau de aperto correto que se deve dar nos parafusos. Quando for necessário controlar com mais cuidado o aperto, pode-se medir a distensão dos parafusos ou usar o torquímetro. Depois do aperto concluído, as porcas devem ficar completamente roscadas no corpo dos parafusos, e os estojos devem ficar com extremidades de igual comprimento sobressaindo nas porcas.

Drenos, respiros, purgadores, linhas de aquecimento e outros acessórios pequenos que não tenham a sua localização definida exatamente no projeto devem ser colocados em locais de fácil acesso e que não interfiram com outras construções. Caso necessário, devem ser acrescentados, nos pontos baixos e pontos altos, drenos e respiros não previstos no projeto.

Na montagem de válvulas, filtros, separadores e outros acessórios especiais de tubulação, deve-se prestar atenção para verificar se o tipo e o modelo estão corretos (pela especificação de material da tubulação), e se a posição de instalação e o sentido de fluxo também estão corretos pelo projeto. Todas as válvulas devem ser estocadas, transportadas e montadas na posição fechada, exceto as que tenham extremidades para solda de encaixe ou de topo, que devem estar na posição aberta durante a soldagem. As válvulas que possuam quaisquer partes não metálicas (retentores, discos de fechamento, diafragmas etc.), devem ter essas partes

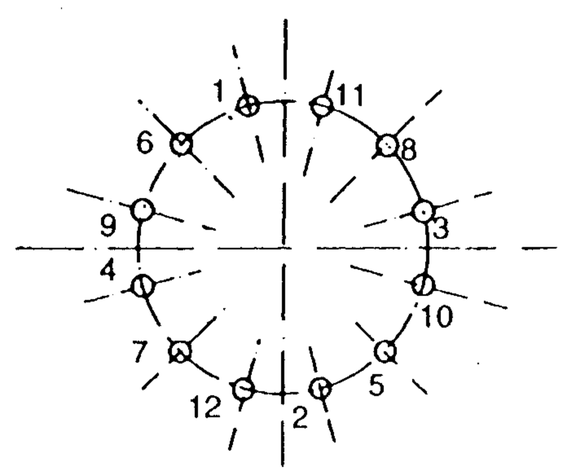


Fig. 15.8 Seqüência de aperto de parafusos em um flange.

removidas para a execução de qualquer soldagem ou tratamento térmico.

As juntas de expansão devem ser montadas protegidas, e mantidas travadas e convenientemente suportadas até a conclusão do teste hidrostático na tubulação.

As ancoragens só devem ser soldadas após a conclusão de toda a montagem, alinhamento e nivelamento das tubulações, porém antes do teste hidrostático. Os berços e outras peças fixados à tubulação por solda descontínua devem ter a solda completada após a execução da pintura das partes que ficarão encobertas.

Em qualquer serviçõ de montagem de tubulações devem evidentemente ser observadas todas as normas de segurança para se evitar acidentes. No caso particular de obras em instalações onde existam (ou possam existir) líquidos ou gases inflamáveis, explosivos, ou capazes de formar misturas detonantes, deve-se tomar o máximo cuidado com os riscos de incêndio e de explosão. Os serviços de solda, de maçarico, ou quaisquer outros serviços de chama aberta, só podem ser feitos depois de expressamente autorizados pelo inspetor de segurança, que dará um certificado da inexistência de condições de explosividade no local, ou recomendará as precauções que forem necessárias. Convém observar que a simples percussão de um objeto de ferro ou de aço sobre um outro pode gerar uma centelha capaz de provocar uma explosão.

Em todos os serviços de montagem de tubulações, é muito importante o papel da fiscalização da obra. O Engenheiro-Fiscal deve acompanhar cuidadosamente, desde o início, toda montagem, não só para verificar a perfeita obediência aos desenhos e especificações, como também, e principalmente, para auxiliar o montador. É absolutamente necessário que quaisquer dúvidas, possíveis erros de projeto, e alternativas sugeridas (quanto ao projeto ou quanto aos materiais) sejam levados ao conhecimento do Engenheiro-Fiscal, que resolverá essas questões, se necessário, com o auxílio do projetista. O montador, por muito competente que seja, não tem condições para decidir, pelo fato de desconhecer as razões que levaram o projetista a adotar essa ou aquela solução.

15.8 Limpeza das Tubulações

Depois de terminada a montagem deve-se fazer a limpeza interna completa das tubulações, para remover depósitos de ferrugem, pontas de elétrodos, salpicos de solda, poeiras, rebarbas e outros detritos, antes da entrada em operação do sistema. Essa limpeza é geralmente feita pelo bombeamento contínuo de água até que a água saia completamente limpa. Por precaução adicional, colocam-se filtros provisórios de tela na entrada das bombas, compressores, medidores e outros equipamentos, para evitar a entrada de detritos, durante os primeiros períodos de operação do sistema, como já referido no Item 7.8. A água empregada na limpeza deve ser doce, limpa e não-poluída; para tubulações de aços inoxidáveis deve ser exigido que a água não tenha concentração de cloretos acima de 30 ppm.

Antes da limpeza, devem ser retiradas da tubulação as válvulas de retenção e de controle, placas de orifício, separadores de linha, e também as válvulas de segurança e de alívio; essas peças devem ser limpas em separado, e substituídas provisoriamente na tubulação, onde possível e necessário, por pedaços curtos de tubo com os extremos flangeados ("carretéis", como são chamados).

No caso de tubulações para gases, principalmente quando de grande diâmetro, deve ser verificado no projeto se os suportes podem resistir ao peso da tubulação cheia de água, ou se é necessária a construção de escoramentos provisórios.

Nas tubulações ligadas a compressores, depois da limpeza usual com água, deve-se fazer uma segunda limpeza com ar comprimido, para remover os restos de água ou de umidade. Em casos especiais de tubulações em que, devido ao material ou ao serviço, a presença ou vestígios de água não possam ser permitidos, a limpeza deverá ser feita apenas com ar comprimido.

Em lugar da limpeza convencional acima descrita, a limpeza das tubulações também pode ser feita simplesmente por meio de um "pig" (êmbolo) especial que desliza por dentro da tubulação acionado pela pressão da água, e em cuja passagem vai carregando detritos e corpos estranhos existentes. Um sistema aprovado desses "pigs" é o patenteado pelo Eng. Carlos Nagib Khalil, da Petrobrás, que consiste em uma série de "pigs" de espuma de material plástico, adaptáveis a vários diâmetros de tubulação.

Quando devido à natureza do serviço houver necessidade de uma limpeza mais perfeita, pode-se recorrer à limpeza mecânica e à limpeza química. A limpeza mecânica é feita por meio de escovas rotativas, elétricas ou de ar comprimido. Pode também ser feita manualmente, em tubos de grande diâmetro, nos quais seja possível a entrada de pessoas. A limpeza química consiste na circulação de soluções especiais de detergentes, ácidos ou soda cáustica, conforme o material do tubo e o grau de limpeza desejado. A solução química deve ser depois completamente removida por meio de água, vapor ou ar comprimido.

As tubulações destinadas a água potável devem sofrer uma desinfecção feita com uma solução contendo no mínimo 50 mg/litro de cloro, durante pelo menos 3 horas. A desinfecção deve ser repetida até que a análise bacteriológica não acuse mais qualquer contaminação.

15.9 Casos Especiais de Montagem de Tubulações

1. *Tubulações rosqueadas* — As tubulações rosqueadas são sempre inteiramente montadas no campo, não havendo prémontagem. A montagem geralmente é feita com dimensões tiradas no local, porque nos desenhos dessas tubulações não costumam figurar as dimensões exatas, não só pela dificuldade de fixar as dimensões devido à própria abertura das roscas, como também pelo fato de as tubulações finas serem deixadas por último lugar e terem de passar nos espaços que sobrarem.

As roscas nos extremos dos pedaços de tubo costumam ser abertas no campo tarraxas manuais. Para o corte desses pedaços de tubo deve-se dar o acréscimo do comprimento de rosca que ficará, depois do aperto, dentro das luvas, uniões, válvulas, joelhos, tês etc.

O aperto das roscas deverá ser feito com as chaves normais para o diâmetro do tubo em questão. Não devem ser usados barras ou tubos de extensão com a finalidade de dar maior aperto. Para garantir a vedação, usam-se, em

muitos casos, fitas adesivas especiais, que devem ser enroladas nas roscas macho. Nunca se deve voltar para trás uma rosca que está sendo apertada, com a finalidade de ajustar a posição de uma curva, derivação, válvula etc., porque não se poderá mais garantir a vedação da mesma.

Antes de se rosquear duas peças, uma na outra, deve-se verificar se as duas roscas são exatamente iguais porque, caso não sejam, a tentativa de conseguir o rosqueamento poderá danificar gravemente ambas as peças.

2. *Tubulações com revestimentos internos* — Para as tubulações que devam ter um revestimento interno (de materiais plásticos, elastômeros, ebonite etc.), as varas de tubo e as conexões podem ser adquiridas já revestidas, ou o revestimento pode ser aplicado na montagem, sendo o primeiro sistema preferível, sempre que possível. Existem no comércio tubos e conexões com vários tipos de revestimentos já aplicados internamente.

Com freqüência os tubos e conexões com revestimento já aplicado têm as extremidades flangeadas, geralmente com flanges soltos, não sendo assim necessário nenhum retoque do revestimento na montagem, devendo-se entretanto evitar o aperto excessivo dos parafusos dos flanges para não danificar o revestimento.

Para as emendas soldadas ou rosqueadas, de qualquer tipo, em tubos e conexões, o revestimento interno deve ser retocado após a montagem para garantir-se a sua continuidade. No caso de ligações soldadas, o revestimento deve primeiro ser removido até uma certa distância das soldas (30 a 70 mm), para não ser queimado na soldagem; nas ligações rosqueadas, o revestimento deve ser completamente removido de ambas as roscas.

Para permitir o retoque do revestimento, devem existir ligações flangeadas espaçadas de 10 a 15 m, dependendo da configuração geométrica da tubulação, sendo assim geralmente necessárias outras ligações flangeadas, além das já existentes nos pontos extremos de cada tubulação. Essas ligações flangeadas adicionais devem ser acrescentadas a critério do montador, onde necessário, devendo-se para isso fornecer previamente os desenhos isométricos da tubulação.

É importante lembrar que o revestimento interno deve obrigatoriamente estender-se, sem solução de continuidade, também às faces de todos os flanges.

Essas recomendações acima não se aplicam aos tubos galvanizados, nem geralmente aos tubos com revestimento de concreto, que só costumam ser usados como revestimento anticorrosivo, em serviços de baixa responsabilidade.

3. *Tubulações de pequeno diâmetro* — As tubulações de cobre, latões, alumínio, e materiais plásticos, de pequeno diâmetro (até 1″), são empregadas para a transmissão de sinais pneumáticos para instrumentos e também, em alguns casos, para a condução de água e óleos. Essas tubulações, como têm pequena resistência estrutural, são em geral instaladas formando um feixe (bundle) como mostra a Fig. 15.9. Os feixes correm presos a perfis laminados ou a calhas especiais de chapa dobrada ou de materiais plásticos. Os tubos são fixados, de espaço em espaço por meio de ferragens aparafusadas. Os perfis ou calhas devem ser colocados de forma que não haja empoçamento de água.

As mudanças de direção são feitas sempre com tubos curvados; o encurvamento deve ser feito com raio grande e com o devido cuidado para não achatar os tubos.

15.10 Ajustagem de Suportes Fixos e de Suportes de Molas

Depois de completada a montagem de um sistema de tubulações, deve ser feita uma cuidadosa verificação de todos os suportes, ajustando-os se necessário, para que os pesos fiquem distribuídos uniformemente e para que os dispositivos de restrição (guias, batentes, contraventos) funcionem corretamente como previsto no projeto. O ajustamento dos suportes deve ser iniciado pelos pontos mais críticos, onde a tubulação for mais complexa, passando-se depois aos trechos de linha simples. Qualquer ajustamento só deverá ser feito depois de concluídos todos os tratamentos térmicos das tubulações, quando for o caso.

Mesmo quando todos os suportes estão com o alinhamento e nivelamento teóricos exatos, o ajustamento ainda

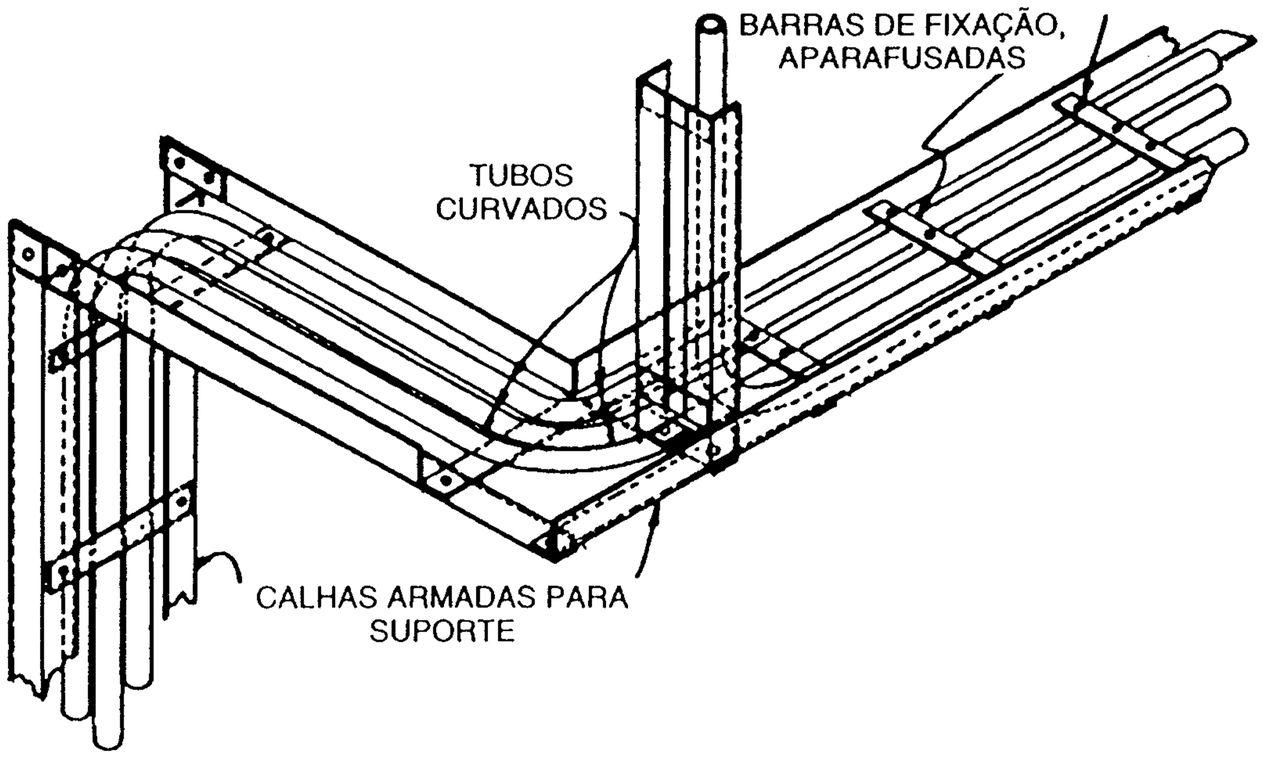


Fig. 15.9 Feixe de tubos de pequeno diâmetro.

é geralmente necessário não só porque na pré-montagem das peças e na montagem das tubulações com freqüência ocorrem pequenos desvios entre as dimensões teóricas e as reais, como também porque os bocais dos vasos e equipamentos às vezes não estão nas suas posições exatas, e também porque é impossível prever-se com precisão o comportamento do sistema em funcionamento, principalmente quando as temperaturas são elevadas. O ajustamento dos suportes consiste em ligeiras modificações em sua cota de elevação, o que se consegue pela colocação de pequenos calços de chapa de aço soldados na superfície de apoio do suporte. Nos pendurais (veja Item 11.5), o ajustamento é feito pela simples variação do comprimento do vergalhão de suspensão, por meio de esticadores ou de porcas, colocando-se a linha na elevação correta.

Para os suportes de molas pendurados, o ajustamento inicial deve ser feito, como nos pendurais, pela variação do comprimento dos vergalhões de suspensão. Ajusta-se esse comprimento de maneira que a tubulação fria fique na elevação correta de projeto, e também de forma que o índice do aparelho fique bem próximo do limite correspondente à posição fria. Em alguns casos é impossível obter-se esse duplo ajustamento simultaneamente, isto é, quando se tenta levar a linha para a elevação correta o índice do aparelho sai fora da posição; reciprocamente, para manter o índice na sua posição é necessário desnivelar a linha. Quando isso ocorrer é sinal de que as molas estão com calibragem incorreta, o que pode acontecer principalmente devido a erros na avaliação dos pesos que de fato estejam atuando em cada aparelho. Nesse caso, a solução é modificar-se a tensão das molas, agindo-se na regulagem dos próprios aparelhos, o que, entretanto, só deve ser feito como último recurso.

É importante que a regulagem dos suportes de molas seja feita simultaneamente em todos os aparelhos de um mesmo sistema, para evitar que haja transmissão indevida de esforços de um para outro. No caso de tubos de grande diâmetro para líquidos, a diferença entre os pesos da tubulação em montagem e em operação é muito grande, sendo em geral impossível regular os suportes para ambos os casos. Por esse motivo, recomenda-se que a regulagem seja feita com a tubulação cheia com água, após o teste hidrostático, ou com o próprio fluido, para que o peso se aproxime do peso real em operação.

Para os dispositivos de restrição o ajustamento inclui, também, quando necessário, pequenas modificações nas posições dos elementos que devam guiar os movimentos das tubulações (perfis, chapas etc.), para que de fato se encostem nos pontos previstos.

O comportamento de todos os suportes e restrições deve ser cuidadosamente acompanhado durante o início de operação do sistema, principalmente no caso de linhas de temperatura elevada. Deve-se observar, depois do aquecimento, se os pesos continuam bem distribuídos por todos os suportes, se as dilatações estão se dando nos sentidos esperados, se os pontos de fixação e restrição estão funcionando satisfatoriamente, e se os suportes de molas estão no ajustamento correto. Se for necessário faz-se um novo ajustamento de elevações e posições com o sistema quente. No caso dos suportes de molas, a regulagem deve ser corrigida se, com a linha no máximo de aquecimento, o índice do aparelho estiver fora da faixa de trabalho.

15.11 Construção de Tubulações Subterrâneas

As valas para a colocação dos tubos enterrados devem ter seção retangular a não ser que a consistência do terreno não permita. Para quaisquer valas de profundidade superior a 2 m é conveniente o escoramento, exceto quando em rocha ou em moledo. A largura das valas deve ser a mínima possível para não sobrecarregar os tubos; geralmente basta medir 0,3 m a mais do que o diâmetro externo dos tubos.

Para os tubos de concreto armado e de barro vidrado, as profundidades mínimas, medidas até a geratriz superior dos tubos, deverão ser as seguintes (tubulações em ruas, estradas e outros locais de tráfego):

Locais de tráfego pesado — no leito de rua: 0,9 m.
Locais de tráfego pesado — fora do leito da rua: 0,7 m.
Locais de tráfego leve — no leito da rua: 0,7 m.
Locais de tráfego leve — fora do leito da rua: 0,5 m.

Os tubos de ferro fundido e os tubos de aços poderão ficar, em cada um dos casos acima, em profundidades 0,1 m menores, com um mínimo de 0,5 m.

Os tubos de cimento-amianto e de materiais plásticos devem ficar em profundidades pelo menos 0,1 m maiores.

Para as tubulações fora de locais de tráfego não há recomendações quanto a profundidade; entretanto, em nenhum caso a profundidade deve ser menor do que 0,5 m, para melhor distribuição das eventuais sobrecargas, e para maior uniformidade de temperatura do solo. Deve-se tomar especial cuidado na instalação de tubos enterrados em locais onde possa haver alterações futuras no nível do solo, decorrentes de terraplenagens, pavimentações, acertos de terreno etc.

As tubulações enterradas assentadas diretamente no solo não devem ficar a menos de 1 m de distância de quaisquer construções, fundações etc. As tubulações para água devem ficar sempre em cota superior às linhas enterradas de esgoto, e sempre a uma distância de mais de 1 m dessas tubulações.

O material escavado da vala deve, de preferência, ser colocado apenas de um dos lados da vala, e a mais de 0,3 m do bordo da mesma. Quando os tubos forem assentados diretamente no solo, como acontece na grande maioria dos casos, deve ser colocada, no fundo da vala, uma camada de areia com espessura mínima de 0,1 m para base dos tubos.

Se a tubulação for colocada sobre suportes, deve haver no mínimo um suporte para cada tubo de ferro fundido e dois suportes para cada tubo de concreto armado. Em

quaisquer casos, os suportes devem ser colocados próximos às bolsas, e deve ser verificado, como está no Cap. 3 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo", já citado, o comportamento dos tubos à flexão, por ação das cargas permanentes e acidentais. A superfície de apoio do suporte deve abranger, no mínimo, 1/4 da circunferência do tubo. Como já vimos no Item 11.12, em todas as tubulações pressurizadas com ligações de ponta e bolsa deve haver ancoragens nos pontos de mudança de direção, defronte das derivações importantes, e de espaço em espaço nos trechos retos, para evitar que a pressão interna tenda a abrir as ligações.

No assentamento dos tubos com ponta e bolsa são permitidas pequenas deflexões horizontais e verticais, entre um tubo e outro, tanto maiores quanto menor for o diâmetro do tubo. Para tubos de concreto armado e barro vidrado, as deflexões máximas vão de 1.° a 3.°. Os tubos de ferro fundido com juntas de retentores de borracha admitem deflexões 2 a 3 vezes maiores. Nos trechos em forte declive as bolsas devem estar sempre voltadas para o ponto alto da linha.

Para a construção da linha os tubos devem ser distribuídos ao longo da vala, do lado oposto onde estiver acumulada a terra escavada, sobre uma plataforma preparada e nivelada. Os tubos deverão depois ser rolados com cuidado um a um para dentro da vala.

O reaterro da vala, até 0,2 m acima do topo do tubo, deve ser preenchido com material selecionado, isento de pedras, raízes ou outros corpos estranhos, adensado em camadas de espessura não superior a 0,2 m. É muito importante que a terra colocada embaixo e dos lados do tubo fique bem socada. O reaterro da vala deve ser completado com material de densidade proximamente igual à do terreno original.

Os tubos de aço, antes de serem recobertos com terra, devem receber pintura ou revestimento externo contra a corrosão do solo. Voltaremos a esse assunto no Cap. 16. Quando se faz o reaterro de valas para tubos com revestimento externo, a primeira camada deve ser de areia fina, para não danificar o revestimento.

A construção de tubulações enterradas de grande extensão, como é o caso dos oleodutos, pode ser feita economicamente com alto grau de mecanização. Além das máquinas usuais de terraplenagem, usadas para limpeza e regularização da faixa de terreno e também para a compactação do reaterro final, existem máquinas especializadas para abrir valas de quaisquer dimensões, para limpar, escovar, pintar e revestir os tubos externamente, e para lançar a tubulação na vala.

A instalação de pequenos trechos de tubulações enterradas, como é o caso dos ramais em linha-tronco, pode ser feita enfiando-se o tubo horizontalmente, a força, no solo, por meio de um macaco hidráulico. As vantagens desse sistema são a rapidez de execução, a ausência de escavações, e a não necessidade de quebra e recomposição da pavimentação. Em compensação, as desvantagens são a necessidade de escorar firmemente o macaco hidráulico, a dificuldade em dar direção certa ao tubo, e a impossibilidade de emprego de tubos com qualquer tipo de revestimento externo.

15.12 Testes de Pressão em Tubulações e em Válvulas

Depois de montado o sistema de tubulações, deve ser feito obrigatoriamente um teste de pressão para a verificação de possíveis vazamentos, sendo essa uma exigência comum a todas as normas de projeto de tubulações. Na grande maioria dos casos o teste é feito por pressão de água (teste hidrostático); em alguns casos especiais, em que não se possa permitir a presença de água ou umidade nos tubos, faz-se o teste com ar comprimido, ou mais raramente com outros fluidos. O teste com ar comprimido também pode ser necessário para algumas tubulações de grande diâmetro para gases, cujos suportes não permitam a carga adicional do peso da água do teste.

No teste hidrostático a pressão de teste deve ser sempre superior à pressão de operação da tubulação. Pela norma ASME B.31.3, a pressão de teste hidrostático para tubulações cujas temperaturas forem superiores a 340°C deverá ser:

$$P_t = \frac{1,5\ P\ S_c}{S_h}$$

em que

P_t = pressão mínima do teste hidrostático.
P = pressão de projeto da tubulação (como definido no Cap. 3 do livro "Tubulações Industriais — Cálculo").
S_c = tensão admissível do material a 340°C.
S_h = tensão admissível do material na temperatura de projeto.

Para tubulações cuja temperatura de projeto for inferior a 340°C, a pressão de teste será de acordo com a mesma norma: $P_t = 1,5\ P$.

O menor valor para a pressão de teste em tubulações industriais deve ser 0,1 MPa ($\cong$ 1 kg/cm^2), aplicável inclusive para as tubulações que trabalham sem pressão nenhuma ou com vácuo.

O teste com ar comprimido é bastante perigoso devido ao risco de explosão que pode ocorrer, em conseqüência da força elástica do ar, se houver um ponto fraco no sistema, risco esse que é tanto mais grave quanto maior for o volume de ar contido na tubulação. Por essa razão, esse tipo de teste é formalmente desaconselhado, podendo ser permitido apenas nos raros casos em que o teste hidrostático normal for inteiramente inviável. A pressão de teste com ar deverá ser 10% acima da pressão de projeto, não devendo, entretanto, em nenhum caso, exceder de 0,2 MPa ($\cong$ 2 kg/cm^2).

Qualquer que seja o tipo de teste de pressão, o mesmo deve ser realizado:

— pelo menos 48 horas depois de completada a última soldagem;
— depois de todos os tratamentos térmicos;
— antes de qualquer serviço de pintura ou de aplicação de qualquer revestimento, interno ou externo.

Além do teste de pressão em tubulações, devem também ser feitos testes de pressão em válvulas, sendo esse teste feito em duas etapas: o teste de eventuais vazamentos da carcaça da válvula para o exterior, e o teste de estanqueidade do sistema interno de vedação da válvula, efetuado com a válvula completamente fechada.

O teste da carcaça é feito de forma semelhante ao teste de pressão das tubulações, aplicando-se uma pressão interna igual a 1,5 vez a pressão máxima de trabalho da válvula, em temperatura ambiente, como definido pela norma dimensional ou pela classe de pressão da válvula (veja Item 4.12). Nesse teste não se pode permitir, evidentemente, nenhum vazamento ou queda de pressão.

O teste de estanqueidade interna é feito aplicando-se ao mecanismo interno da válvula, com esta completamente fechada, uma pressão igual a 1,1 vez a pressão máxima de trabalho da válvula, como definido acima. A válvula deverá estar com todas as extremidades fechadas com flanges cegos, ou devidamente tamponadas. Nesse teste permite-se, para as válvulas de diâmetro nominal acima de 2″; um pequeno gotejamento, dependendo do tipo de válvula e do diâmetro nominal, até um limite fixado por uma norma ou por acordo com o fabricante. Para esse teste pode ser empregada água, querosene, ou outro líquido cuja viscosidade não seja maior do que a da água.

15.13 Preparação e Execução de Testes de Pressão em Tubulações

As seguintes providências preparatórias devem ser tomadas antes do teste de pressão com água.

— Todo o sistema de tubulações deve ser subdividido em seções, por meio de raquetas, flanges cegos, tampões, bujões etc., de forma que cada seção possa suportar a mesma pressão de teste. Essa subdivisão também facilita a própria execução do teste hidrostático, que deve ser feito por seções, e não obrigatoriamente em cada tubulação individual. As seções de teste podem incluir vasos e outros equipamentos ligados à rede de tubulações, desde que possam, com segurança, ser submetidos à mesma pressão de teste.
— As placas de orifício e todas as outras restrições ao fluxo devem ser removidas.
— Todas as válvulas devem ser completamente abertas, e as válvulas de controle, retenção, e outras que se fechem por ação de mola ou da gravidade, ou que não possam por si permanecer em posição aberta, devem ser travadas abertas. Toma-se essa providência para que as válvulas não perturbem o enchimento e o posterior esvaziamento completo das tubulações.
— As válvulas de bloqueio dos ramais para os instrumentos devem ser fechadas.
— Os instrumentos e outros equipamentos que não possam ser submetidos à pressão de teste devem ser retirados ou substituídos por carretéis de tubo.
— As válvulas de segurança e de alívio devem ser removidas e substituídas por flanges cegos ou tampões.
— As juntas de expansão de fole devem ser verificadas e escoradas convenientemente, se necessário, para não se deformarem com o peso da água.
— Todos os filtros provisórios devem ser colocados em seus lugares, para a proteção de máquinas, equipamentos e instrumentos.
— Todos os suportes de molas devem ser mecanicamente travados, na sua calibragem de projeto, sendo que as travas só devem ser retiradas após a conclusão do teste hidrostático e o esvaziamento completo do sistema.
— Todas as soldas, roscas e quaisquer outras ligações da tubulação devem ser deixadas expostas, sem isolamento térmico e sem pintura.
— Todas as emendas em tubos enterrados devem ficar expostas.

Ao se encher as tubulações com água, deve-ser fazer a completa purga de ar do sistema, abrindo-se todas as válvulas de respiro. Deve-se fazer também uma inspeção de todo o sistema de suportes das tubulações, para verificar o seu comportamento com o peso da água, que por ser freqüentemente mais pesada do que o fluido circulante, constitui a maior carga estática a atuar sobre os suportes. No caso das linhas de grande diâmetro para gases é comum haver necessidade de construção de suportes provisórios adicionais para esse fim.

A pressão de teste é conseguida geralmente com uma pequena bomba alternativa manual, cuja tubulação de recalque é adaptada a um flange cego da tubulação, ou a uma tomada de respiro ou de dreno. A subida da pressão deve ser lenta, para que possa haver um bom controle do valor da pressão. O manômetro deve ficar em posição bem visível do operador que controla o teste, e deve ter uma faixa de graduação aproximadamente do dobro da pressão de teste. A pressão de teste deve ser mantida no seu valor máximo pelo menos por uma hora, durante a qual a tubulação toda é cuidadosamente examinada para a procura de vazamentos. É conveniente que o manômetro de medida da pressão seja colocado no ponto mais alto do sistema; caso isso não seja possível, deve-se acrescentar ao valor da pressão de teste a pressão da coluna hidrostática acima do manômetro.

Durante o teste hidrostático deve-se prestar atenção para evitar que a água penetre em compressores, turbinas, instrumentos e outros equipamentos onde possa causar danos ou de onde não possa ser completamente drenada.

A água para o teste hidrostático deve ser doce, lim-

pa, com reação neutra (pH entre 5 e 9). O uso de água salgada, salobra, ácida, ou qualquer outra água agressiva pode causar sérios problemas de corrosão, mesmo com materiais resistentes, devido à impossibilidade que muitas vezes existe de drenar e secar completamente a tubulação depois do teste. No caso de tubulações de qualquer tipo de aço inoxidável, deve ser exigido que a água do teste não contenha mais de 30 ppm de cloretos, para evitar a possível ocorrência de corrosão por pites ou sob tensão.

Exceto no caso de tubulações de materiais adequados para baixa temperatura, recomenda-se que nenhum teste hidrostático seja feito estando a temperatura da água inferior a 10°C, para evitar a possível ocorrência de fraturas frágeis no material; caso necessário, deve-se aquecer a água antes do início do teste.

Recomenda-se que a água seja completamente drenada imediatamente após o teste, porque a permanência da tubulação cheia de água por longo tempo pode resultar em sérios problemas de corrosão, inclusive corrosão biológica, mesmo em tubos de aços inoxidáveis.

Nos testes de pressão com ar comprimido, devido ao grave risco envolvido, a norma ASME B.31.3 determina que seja feito um teste preliminar com uma pressão máxima de 0,18 MPa ($\cong$ 1,8 kg/cm^2), para a possível detecção de defeitos maiores, antes do teste propriamente dito.

Recomendam-se ainda, nesses casos, as seguintes precauções de segurança:

— A subida da pressão deve ser sempre bem vagarosa, recomendando-se que a pressão vá inicialmente até 50% do valor final, quando deverá ser mantida por 10 minutos, e em seguida reduzida de 10%, ocasião em que todas as soldas e roscas deverão ser examinadas. Esse exame é feito passando-se água com sabão externamente, e verificando-se se há formação de bolhas de ar.
— Repete-se o mesmo procedimento para 75% e para 100% da pressão de teste.
— O controle do teste, inclusive a leitura da pressão, devem ser feitos a distância da tubulação sendo testada. Recomenda-se que toda a área em volta da tubulação seja interditada, não se permitindo a entrada ou permanência de estranhos. Recomenda-se também que ninguém se aproxime da tubulação enquanto a pressão estiver subindo.

A norma ASME B.31.3 exige que seja feito um registro formal do teste hidrostático, onde deve constar, pelo menos, para cada tubulação, a sua identificação completa, a pressão do teste, o fluido de teste empregado, a data do teste e a aprovação do inspetor.

Se no teste de pressão com água ou com ar for constatado algum vazamento, a correção deverá ser feita reparando-se a solda ou reapertando-se a rosca. Depois de corrigido o defeito, o teste deverá ser repetido exatamente como da primeira vez. O teste também deverá ser repetido todas as vezes que a tubulação sofrer qualquer obra ou reparo que possa interferir na sua estanqueidade.

15.14 Estimativa de Serviços de Tubulação

Este capítulo, sobre montagem de tubulações, estaria incompleto se não houvesse uma referência sobre a importante questão da estimativa do tempo necessário para os serviços de tubulação. Vamos ver apenas rapidamente o assunto, que é bastante vasto; existem excelentes livros sobre esta matéria, como, por exemplo, o "Estimator's Piping Man Hour Manual", de John S. Page, que recomendamos aos que desejarem maiores informações.

A estimativa de serviços de tubulação é complexa não só devido à grande variedade de tipos de serviços, como também à influência de numerosas circunstâncias, algumas difíceis de se prever ou de se avaliar com relativa segurança.

O tempo gasto na execução de um determinado tipo de serviço (por exemplo, solda de um flange de pescoço, de aço-carbono, de 4", em tubo série 40), depende, entre outros, dos seguintes fatores:

— Trabalho único ou feito em série.
— Trabalho na oficina ou no campo.

Caso seja feito no campo:

- Instalação nova ou já em operação.
- Local de fácil ou de difícil acesso.
- Maior ou menor grau de periculosidade e de insalubridade.

— Competência dos profissionais e qualidade da supervisão.
— Ferramentas e equipamentos adequados em qualidade e quantidade.
— Facilidade de obtenção dos materiais e de transporte.
— Serviço feito de dia ou à noite, em horário normal ou em horas extras.
— Serviço feito em local abrigado ou sujeito a sol, chuva e vento.
— Maior ou menor urgência do trabalho e maior ou menor grau de qualidade exigida.

O cálculo dos tempos necessários é feito geralmente em duas etapas:

Primeiro faz-se a estimativa básica, que significa os tempos gastos para serviços feitos em condições típicas normais. Essas condições correspondem, em geral, a valores médios dos fatores de influência acima citados. A estimativa básica costuma ser feita pela simples consulta a tabelas, em função de cada tipo de serviço e respectiva quantidade.

Obtida a estimativa básica, a segunda etapa será corrigi-la para atender às situações reais dos diversos fatores

de influência. Para essa correção, os conhecimentos e a prática de quem faz são importantíssimos e insubstituíveis. É impossível estabelecer e definir exatamente coeficientes de correção válidos para todas as combinações que possam ocorrer dos diversos fatores de influência, inclusive porque muitos desses fatores são interdependentes. A maior ou menor precisão da estimativa final dependerá essencialmente da prática de quem aplica os coeficientes de correção para os fatores de influência existentes, e da sensibilidade em avaliar a importância de cada um desses fatores.

Deve-se fazer sempre a comparação entre as estimativas feitas e os tempos efetivamente gastos em cada serviço já executado, porque é o melhor meio de ajustar os valores dados nas tabelas às circunstâncias locais, e também porque permite a descoberta e avaliação de fatores de influência não considerados.

Na Tabela 15.3 estão listados valores de tempos gastos (em homens-hora), para alguns tipos de serviços mais comuns em montagem de tubulações industriais, que podem servir como primeira aproximação para a estimativa básica.

Essa tabela baseia-se em valores médios encontrados em instalações típicas de refinarias ou indústrias de processamento químico, onde os equipamentos e tubulações estão ao tempo, e onde existem recursos locais adequados de mão-de-obra, ferramentas, transporte e materiais de almoxarifado. A tabela aplica-se apenas a serviços feitos durante o dia, em horário normal, sendo a pré-montagem feita em oficina e a montagem feita no campo, em local de razoável acesso. Os valores da tabela referem-se todos a peças de aço-carbono. Os tempos indicados incluem os serviços de procura e transporte dos materiais, pré-montagem, montagem completa e teste hidrostático; não estão incluídos serviços de tratamentos térmicos, pinturas, isolamentos, revestimentos especiais, construção de suportes etc.

Tabela 15.3
Quantidade de Homens-hora para Serviços de Tubulação

Diâmetro nominal (pol.)	*Tubo corrido por m*		*Soldas de topo*		*Ligações flangeadas*		*Válvulas flangeadas*		*Ligações rosqueadas*
	Série 40	*Série* 80	*Série* 40	*Série* 80	150 #	300 #	150 #	300 #	
3/4	0,21	0,24	—	—	—	—	—	—	0,4
1	0,24	0,27	—	—	—	—	—	—	0,5
1 1/2	0,30	0,38	1,1	1,3	1,5	1,7	0,5	0,7	0,8
2	0,39	0,45	1,3	1,5	1,7	2,0	0,6	0,8	1,2
3	0,61	0,75	2,0	2,2	2,0	2,3	0,8	1,0	—
4	0,81	0,99	2,5	2,8	2,2	2,6	1,0	1,3	—
6	1,17	1,56	3,3	4,0	2,5	3,0	1,5	2,0	—
8	1,56	2,04	4,0	5,0	2,7	3,2	2,0	2,5	—
10	1,98	2,54	5,0	6,0	3,0	3,5	2,5	3,3	—
12	2,28	2,70	6,5	7,8	3,2	3,7	3,0	4,0	—
14	2,40	3,00	7,2	8,5	3,3	4,0	3,6	4,9	—
16	2,70	3,30	7,8	9,0	3,5	4,2	4,3	6,0	—
18	3,00	3,55	9,0	10,2	3,7	4,4	5,0	7,2	—
20	3,25	3,75	10,0	12,0	4,0	4,6	5,8	8,4	—
24	3,60	4,10	12,0	14,5	4,2	4,8	7,0	9,6	—

16

AQUECIMENTO, ISOLAMENTO TÉRMICO, PINTURA E PROTEÇÃO

16.1 FINALIDADES DO AQUECIMENTO DAS TUBULAÇÕES

O aquecimento de tubulações pode ser necessário pelos seguintes motivos:

1. Manter em condições de escoamento os líquidos de alta viscosidade ou mesmo materiais que sejam sólidos em temperatura ambiente.
2. Manter determinados líquidos, por exigência de serviço, dentro de certos limites de temperatura. Essa exigência pode ser necessária, entre outras razões, para evitar mudanças de estado físico, transformações químicas ou para preservar determinadas propriedades do produto.

Para qualquer uma das duas finalidades acima o aquecimento deve ser feito em regime contínuo. No caso de líquidos de alta viscosidade basta, às vezes, aquecer apenas nos períodos de frio, quando a temperatura ambiente estiver muito baixa.

3. Pré-aquecer as tubulações, no início do funcionamento, para liquefazer depósitos sólidos que se tenham formado no interior dos tubos, enquanto o sistema esteve parado. Com essa finalidade, basta que o aquecimento seja feito no período inicial de funcionamento, depois de cada interrupção prolongada de serviço.

Observe-se que, em nenhum caso, o aquecimento de tubulações destina-se a elevar a temperatura do líquido circulante; deseja-se apenas compensar as perdas de calor que se dão ao longo da tubulação, para que a temperatura inicial do líquido seja mantida.

O meio de aquecimento mais usado em tubulações industriais é o vapor de baixa ou de média pressão (0,07 a 1 MPa) (≅ 0,7 a 10 kg/cm²), saturado ou superaquecido (steam-tracing). Qualquer que seja o sistema de aquecimento empregado, nunca se pode dispensar o isolamento térmico externo da tubulação, sem o qual a eficiência do aquecimento seria baixíssima.

De um modo geral, devem ser aquecidas as tubulações que trabalham com materiais que sejam sólidos em temperatura ambiente, líquidos de alta viscosidade, alto ponto de congelamento, ou líquidos que tendam a formar depósitos sólidos quando resfriados. Algumas vezes é necessário também o aquecimento em linhas de gases liquefeitos, para evitar o congelamento em pontos onde haja uma forte descompressão do gás, como é o caso, por exemplo, no trecho a jusante de certas válvulas de controle e redutoras de pressão. Todas as tubulações que necessitam de aquecimento devem ser claramente mostradas nos desenhos isométricos por meio de convenções especiais. Essa indicação deve também ser colocada nos fluxogramas e nas Folhas de Dados de Tubulação.

Compete à equipe de projeto de processo a indicação de todas as tubulações que devam ser aquecidas, qualquer que seja a finalidade do aquecimento. Como exemplo de produtos que necessitam de aquecimento para escoar, podemos citar o petróleo bruto, óleo combustível e outros óleos viscosos, asfalto, piche, ceras, parafina, graxas, resinas, polímeros, enxofre, uréia etc.

O aquecimento pode ser dispensado nos trechos curtos de tubos, onde a perda de calor é pequena; deve ser lembrado, entretanto, que mesmo nesses trechos pode haver formação de depósitos sólidos de difícil remoção. Também se pode, em certos casos, dispensar o aquecimento, mesmo em tubulações longas, quando houver um sistema de injeção de um fluido de baixa viscosidade capaz de limpar a tubulação e dissolver os depósitos sólidos: o fluido de

limpeza é injetado todas as vezes que o fluxo for interrompido ou a tubulação sair de operação.

16.2 Sistemas Usados para o Aquecimento

São os seguintes os principais sistemas usados para o aquecimento das tubulações:

1. *Tubos de aquecimento externos paralelos* — O aquecimento é feito por um ou mais tubos de vapor, de pequeno diâmetro (steam-tracers), instalados paralelamente ao tubo a aquecer, e amarrados do lado externo desse tubo. O conjunto todo é envolvido com isolamento térmico, como mostra a Fig. 16.1.

Os tubos de aquecimento podem ser de aço-carbono, ou de cobre ou de alumínio, preferindo-se, por motivo de economia, empregar os tubos não-ferrosos somente para fazer curvas, ou seja, em derivações, em curvas para desviar de flanges, válvulas etc., ou em curvas de expansão, ficando os trechos retos usualmente em tubos de aço. Os tubos de cobre são sem costura, de recozimento macio, de especificações ASTM B68 ou B75; em substituição aos tubos de cobre pode-se também empregar tubos de alumínio extrudado, especificação ASTM B210. Os tubos de cobre e de alumínio não devem ser empregados para temperaturas do vapor acima de 200°C, ou em diâmetros acima de ½".

O sistema de tubos externos paralelos tem as vantagens do baixo custo inicial, facilidade de construção e de manutenção e impossibilidade de contaminação do fluido circulante pelo vapor e vice-versa. Em compensação, as desvantagens são o aquecimento irregular e de difícil controle, troca de calor apenas por irradiação e convecção, e aquecimento inicial lento. Pode-se conseguir melhor eficiência da troca de calor preenchendo-se os espaços entre os tubos de aquecimento e o tubo a aquecer com massas especiais que possuem alto coeficiente de transmissão de calor.

Apesar dessas desvantagens, o aquecimento por tubos externos paralelos é o sistema empregado na grande maioria das tubulações aquecidas, porque em geral não é necessário um controle muito preciso da temperatura, bastando que o líquido fique em condições de escoar.

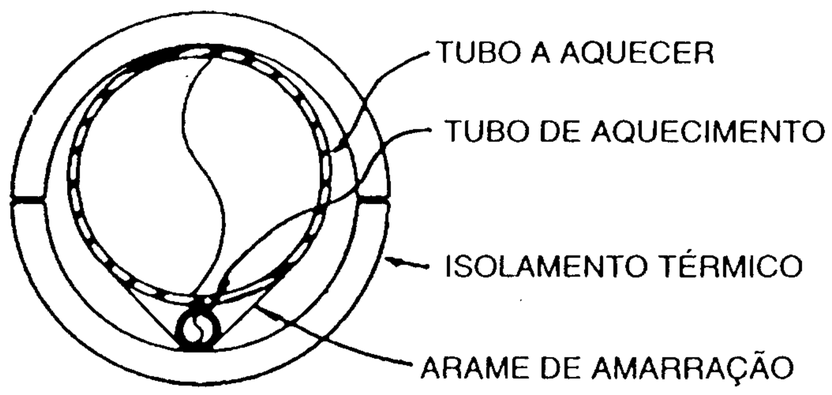


Fig. 16.1 Aquecimento por tubo externo paralelo.

Tanto os tubos de aquecimento paralelos como também os enrolados externamente, que veremos a seguir, só devem ser instalados na tubulação depois do teste hidrostático.

2. *Tubo de aquecimento enrolado externamente* — Nesse sistema, o tubo de aquecimento, por onde corre o vapor, é enrolado externamente no tubo a aquecer (Fig. 16.2). Essa disposição é usada apenas quando se deseja uma troca de calor mais intensa ou para aquecimento de acessórios e equipamentos de formato irregular. O aquecimento por tubo enrolado é bem mais caro e complicado do que o por tubos paralelos, permitindo entretanto um aquecimento mais intenso e mais uniforme. Cada ramal de tubo de aquecimento só pode abranger um pequeno comprimento de tubo principal (2 a 3 m, no máximo).

3. *Tubo de aquecimento interno* — Para tubos de grande diâmetro (acima de 20"), devido à dificuldade de aquecê-los por tubos externos, pode-se usar o sistema de aquecimento interno, isto é, o tubo de aquecimento é colocado por dentro do tubo a aquecer: o tubo de aquecimento corre então na linha de centro do tubo a aquecer, sendo mantido nessa posição por meio de guias apropriadas (Fig.

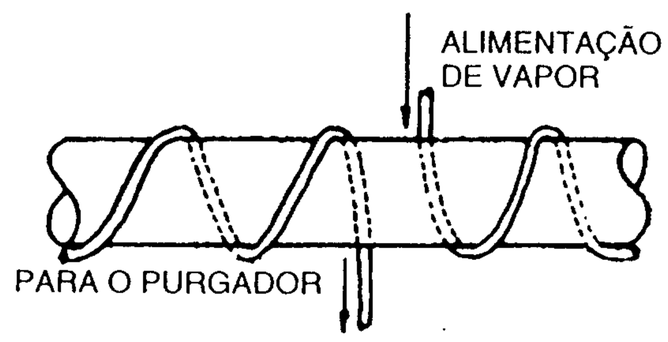


Fig. 16.2 Aquecimento por tubo externo enrolado externamente.

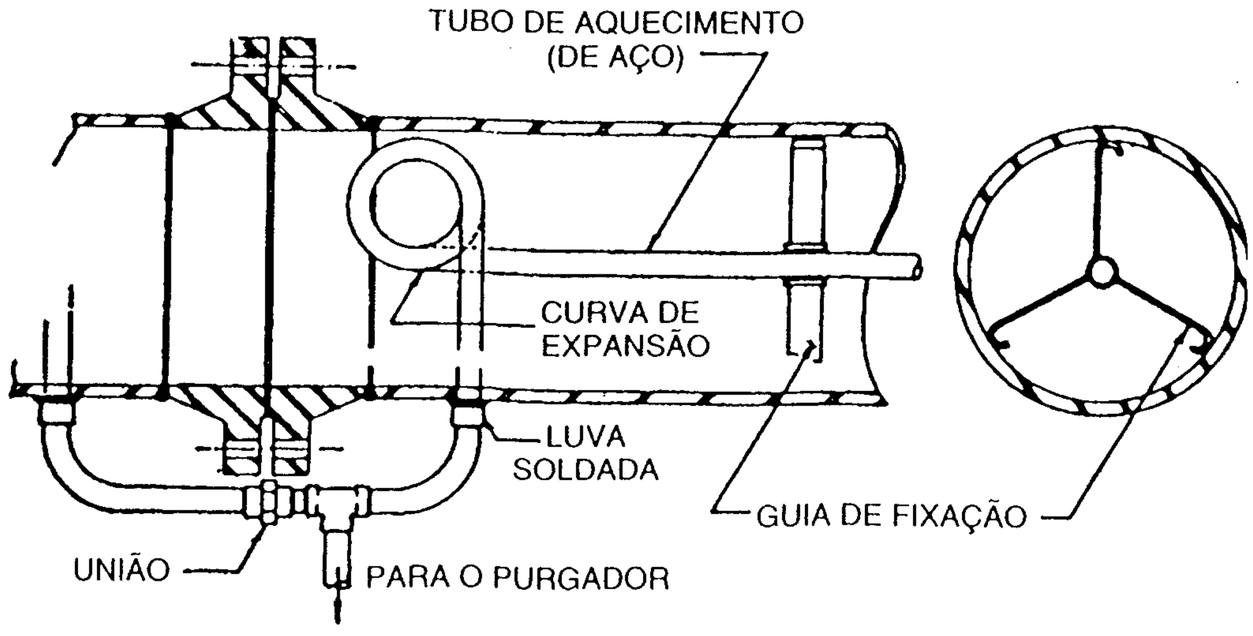


Fig. 16.3 Aquecimento por tubo interno.

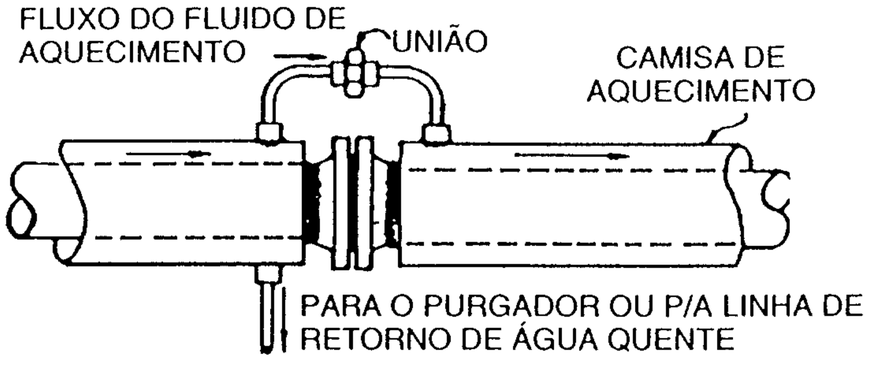


Fig. 16.4 Aquecimento por camisa externa.

16.3). Nesse sistema, a eficiência do aquecimento é muito maior do que na disposição com tubos externos, principalmente quando o tubo a aquecer é de diâmetro muito grande. Entretanto, o aquecimento interno tem as seguintes grandes desvantagens:

a) Construção cara e complicada.

b) Problemas de dilatação diferencial entre os tubos (o tubo de vapor é mais quente e se aquece mais depressa).

c) Possibilidade de contaminação e dificuldade de localização e de reparo dos vazamentos.

d) Não permite a limpeza mecânica interna da tubulação.

4. *Tubo de aquecimento integral* — É um sistema raro, empregado apenas para alguns tubos fabricados por extrusão, de alumínio, latão e outros metais não-ferrosos. O tubo de passagem de vapor é integral com o tubo a aquecer, fazendo ambos parte de um único perfil extrudado.

5. *Camisa externa* — Nesse sistema o fluido de aquecimento corre por um tubo externo de diâmetro maior formando uma camisa que envolve completamente o tubo a aquecer (Fig. 16.4). A camisa externa de aquecimento é uma solução complicada, de preço elevado e de manutenção custosa. A dilatação diferencial entre o tubo interno e a camisa é sempre difícil de ser compensada; há ainda a possibilidade de contaminação em conseqüência de qualquer vazamento, que por sua vez é também difícil de ser descoberto, localizado e reparado. Em compensação, esse sistema permite um aquecimento rápido, intenso e controlado, sendo por isso empregado apenas quando houver necessidade desses requisitos. O fluido de aquecimento pode ser vapor de baixa pressão, água quente, óleos ou fluidos especiais de alto ponto de ebulição ("Dowtherm", "Therminol" etc.), com os quais se conseguem temperaturas mais altas com baixas pressões.

6. *Aquecimento elétrico* — Nesse sistema o aquecimento é feito pela passagem de uma corrente elétrica de baixa voltagem e de grande intensidade em fios colocados ao longo do tubo a aquecer. Veremos adiante mais detalhes desse tipo de aquecimento.

16.3 Aquecimento por Meio de Tubos Externos Paralelos

1. *Quantidade, diâmetro e comprimento dos tubos* — A quantidade e o diâmetro dos tubos de aquecimento dependerá do diâmetro do tubo a aquecer, das condições do vapor de aquecimento e do isolamento térmico, da temperatura ambiente e da natureza do serviço. Na prática, esse dimensionamento é usualmente feito pela simples consulta aos vários gráficos, ábacos e tabelas existentes, de diversos autores, não se justificando em geral nenhum cálculo direto, que será aliás difícil de ser feito com alguma garantia de precisão. Na Fig. 16.5 está mostrado um ábaco de uso muito simples, desenvolvido pelo Eng.º Fernando Ary S. Lomba Filho (e incorporado à norma N-42, da PETROBRÁS), para tubos de aquecimento empregando vapor saturado; tratando-se de vapor superaquecido, deve ser tomada a temperatura de saturação.

O comprimento de cada seção de tubo de aquecimento depende também dos mesmos fatores já mencionados. Quando o comprimento da tubulação a aquecer for maior do que o máximo permissível para os tubos de aquecimento, estes últimos serão subdivididos em tantas seções sucessivas quantas necessárias, cada uma tendo o seu ramal independente de suprimento de vapor e seu ponto de drenagem de condensado, com purgador. A Tabela 16.1 mostra os comprimentos máximos admitidos para cada seção de tubos de aquecimento.

Não é conveniente que os tubos de aquecimento tenham comprimento muito curto para que a quantidade de condensado recolhida nos purgadores não seja excessivamente pequena. Os purgadores que trabalham com quantidade insuficiente de condensado têm ciclos muito rápidos, com desgaste pronunciado e grande perda de vapor. Quando não for possível dar aos tubos de aquecimento um comprimento suficiente, deve-se fazer vários tubos descarregarem no mesmo purgador.

2. *Disposição dos tubos de aquecimento* — Quando a tubulação a aquecer for horizontal, os tubos de aquecimento devem ficar, de preferência, pela parte inferior do tubo, para melhor proteção mecânica. Se houver apenas um tubo de aquecimento, este deve correr sempre na parte inferior do tubo a aquecer, desviando-se, onde necessário, para fugir dos patins de proteção do isolamento térmico. Quando a tubulação a aquecer for vertical, os tubos de aquecimento devem ficar simetricamente dispostos, e de maneira que interfiram o mínimo possível com os suportes, estruturas e com os outros tubos vizinhos.

A Fig. 16.6 mostra as disposições usuais dos tubos de aquecimento para tubulações horizontais e verticais.

3. *Alimentação de vapor e descarga de condensado* — Cada tubo de aquecimento deve ter uma válvula de bloqueio independente (válvula de globo) no seu ponto de alimentação de vapor e também um purgador independente, para o recolhimento do condensado. Os tubos de aquecimento próximos podem ser alimentados por um único ramal tirado do mesmo tronco de vapor, como mostra a Fig. 16.7.

Como a quantidade de condensado é sempre pequena, os purgadores usados são de baixa capacidade, em geral dos tipos termodinâmico ou de impulso. O condensado eliminado nos purgadores é quase sempre jogado fora porque, como a quantidade é pouca, raramente justifica-se recolhê-lo.

Exemplo de uso:

Dados: Diâmetro do tubo: 10"
Temperatura de aquecimento: Ta = 90°C
Temperatura de saturação do vapor: Tv=172°C
Temperatura ambiente mínima: Tm = 10°C
Espessura do isolamento (hidrossilicato de Ca) = 1 1/2"

1 — Trace uma reta passando pelo ponto 'A' e pelo diâmetro do tubo, até o ponto 'M', na reta da espessura do isolamento
2 — Trace uma reta do ponto 'M' até a origem
3 — Calcule as diferenças Ta – Tm = 90 – 10 = 80°C, e Tv – Tm = 172 – 10 = 162°C
4 — Marque o ponto da diferença Ta – Tm no eixo ΔT (ponto P) e o ponto 'N', correspondente à diferença Tv – Tm
5 — Trace uma perpendicular pelo ponto P até a reta de 'M' à origem, determine o ponto 'Q'
6 — Trace uma reta do ponto 'Q' ao ponto 'N', correspondente à diferença Tv – Tm
7 — Trace pelo ponto 'B' uma paralela à reta NQ, determinando o número necessário de tubos de aquecimento. No caso, serão 2 tubos de 1/2"
8 — A perda de calor por hora e por metro de tubo, será a ordenada do ponto 'Q'.

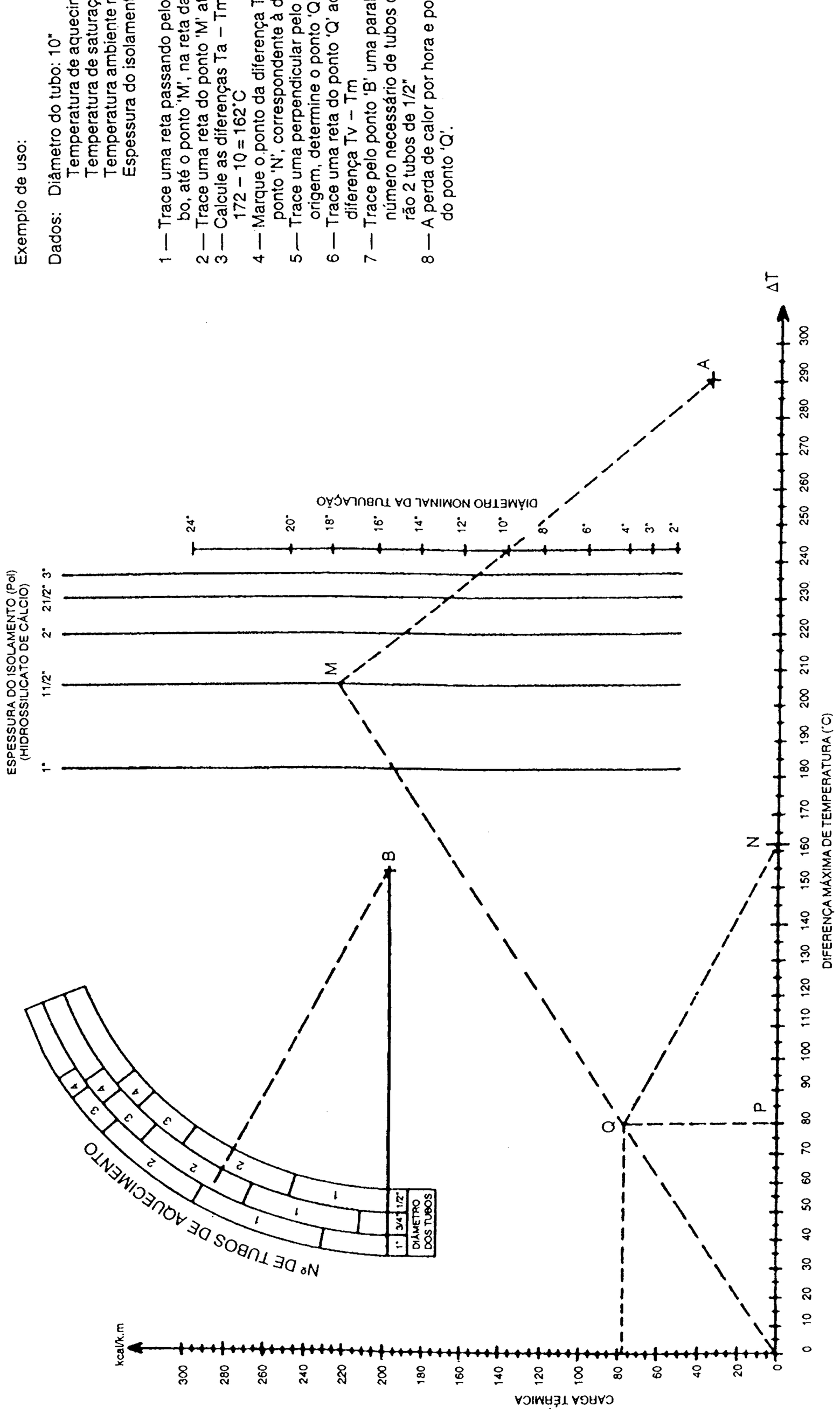


Fig. 16.5 Ábaco para cálculo de tubos de aquecimento. Extraído da norma N-42, da PETROBRÁS. (Cortesia de Petróleo Brasileiro S. A. — PETROBRÁS.)

Tabela 16.1
Comprimentos Máximos de Tubos de Aquecimento

Pressão do Vapor (Para a Atmosfera) (MPa) (≃ *kg/cm²*)	*Diâmetro Nominal do Tubo de Aquecimento*	*Comprimento Máximo (m)*
até 0,17 (≃ 1,7)	3/8" — 1/2"	60
	3/4" — 1"	90
0,17 a 1,4 (≃ 1,7 a 14)	3/8" — 1/2"	60
	3/4" — 1"	120

Extraído da norma N-42, da PETROBRÁS (Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS).

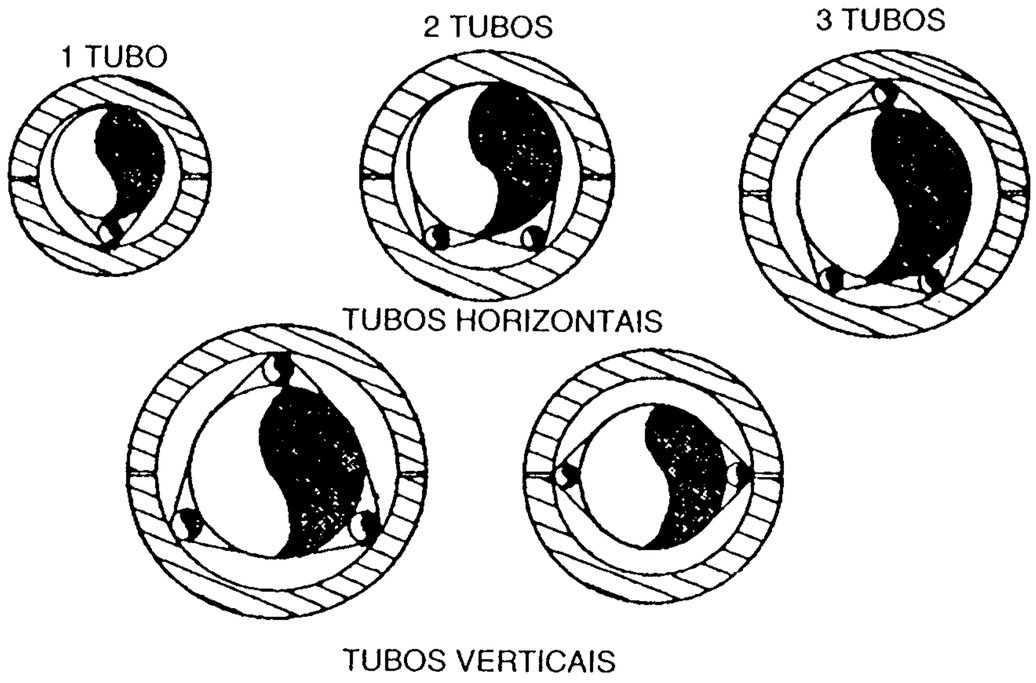


Fig. 16.6 Disposições usuais dos tubos de aquecimento.

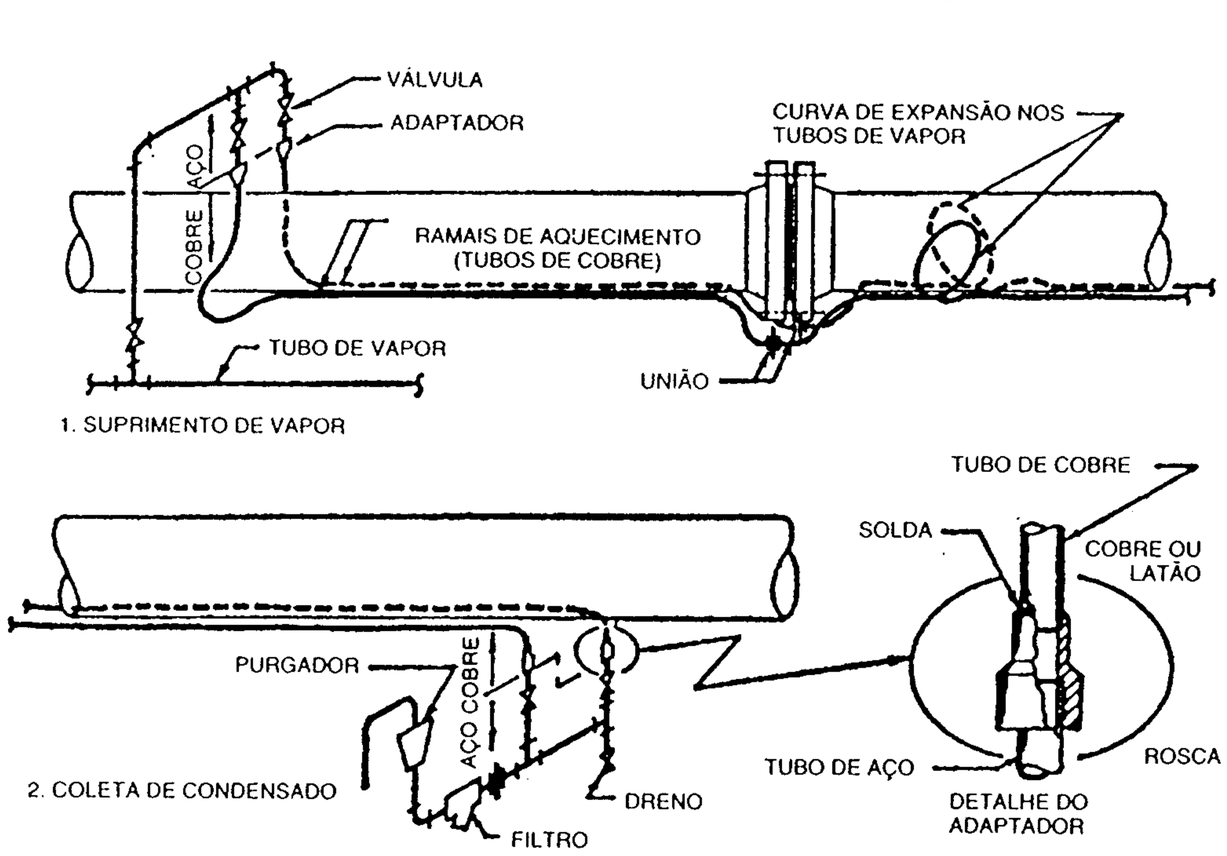


Fig. 16.7 Detalhes dos tubos de aquecimento.

A Tabela 16.2 mostra valores recomendados do diâmetro do tronco de suprimento de vapor em função da quantidade e diâmetro dos tubos de aquecimento alimentados.

4. *Trajeto dos tubos de aquecimento* — O trajeto dos tubos de aquecimento deve ser estudado de forma que o fluxo do vapor seja, de preferência, descendente, para que o condensado formado corra por gravidade para os purgadores. Quando essa disposição não for possível, a soma de todas as elevações de cota (medidas no sentido do fluxo, como mostra a Fig. 16.8), não deve exceder os valores mostrados na Tabela 16.3, que também dá o valor máximo individual de cada elevação de cota.

Em tubulações ramificadas o aquecimento dos ramais curtos pode ser feito com os próprios tubos de aquecimento da linha-tronco, fazendo-os percorrer ida e volta o ramal, como mostra a Fig. 16.9.

Quando em uma tubulação existir uma válvula de bloqueio, convém que o aquecimento dos trechos para cada lado da válvula seja feito independentemente um do outro, como também mostra a Fig. 16.9.

5. *Uso de uniões e conexões* — Em todos os tubos de aquecimento deve ser instalado um número suficiente de uniões para permitir a desmontagem desses tubos e do próprio tubo a aquecer. Devem sempre ser colocadas uniões onde existirem flanges, válvulas e quaisquer outras peças desmontáveis na tubulação a aquecer.

Todas as curvas nos tubos de aquecimento devem ser feitas por encurvamento de tubos, não se devendo usar conexões para esse fim. As uniões e as luvas para emenda dos tubos de cobre devem ser de latão, com extremidades para solda de encaixe.

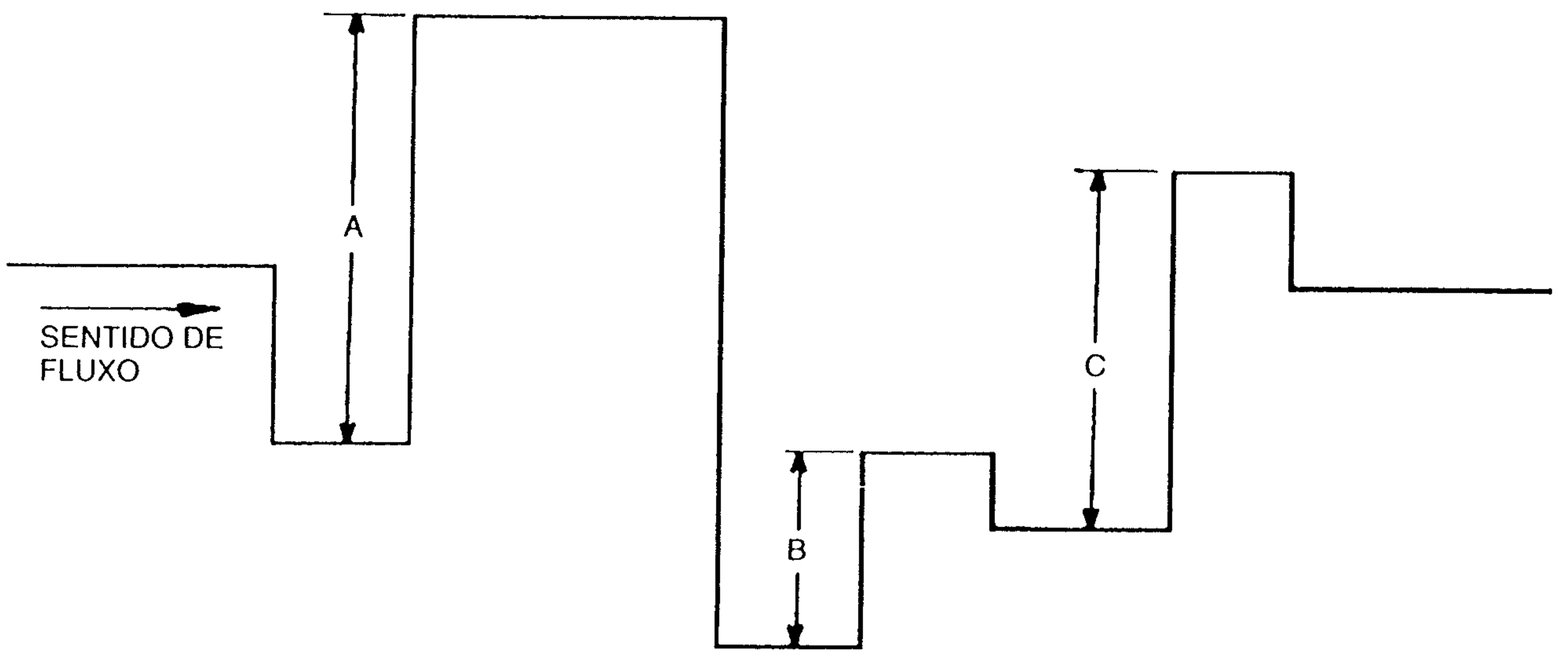


Fig. 16.8 Soma total das elevações de cota: A + B + C.

Tabela 16.2

Diâmetro Nominal do Tronco de Vapor	*Quantidade e Diâmetro dos Tubos de Aquecimento*			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1/2	1 – 2	1	–	–
3/4	3 a 5	2 a 4	1	–
1	6 a 8	5 – 6	2 – 3	1
1 1/2	9 a 18	7 a 12	4 a 7	2 a 3
2	19 a 28	13 a 16	8 a 11	4 a 6

Extraída da norma N-42, da PETROBRÁS (Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS).

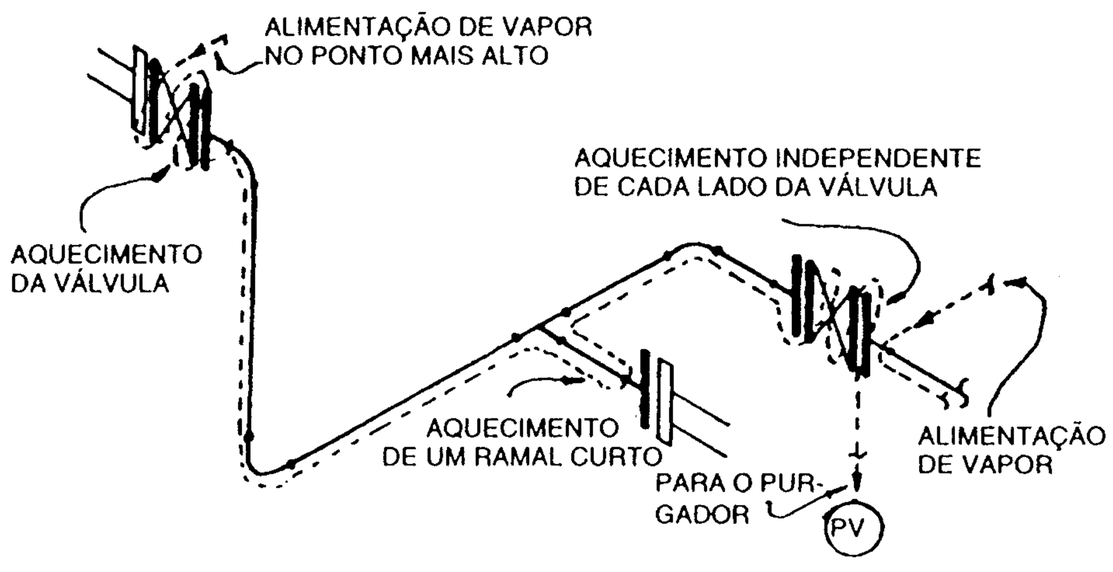


Fig. 16.9 Trajeto dos tubos de aquecimento.

6. *Dilatação diferencial* — Como os tubos de aquecimento são sempre mais quentes do que a tubulação a aquecer, a dilatação deles será maior do que a da tubulação. Por essa razão convém, de espaço em espaço, deixar-se curvas de expansão nos tubos de aquecimento, para absorverem a dilatação diferencial desses tubos. Em geral o espaçamento entre essas curvas é da ordem de 15 m.

7. *Aquecimento de válvulas e outros equipamentos* — Costuma-se fazer também o aquecimento de válvulas, filtros, instrumentos, bombas e outros equipamentos ligados às tubulações aquecidas. O aquecimento desses equipamentos é obtido enrolando-se, por fora, em ziguezague ou em espiral, um ou mais tubos de cobre de aquecimento.

8. *Massas transmissoras de calor* — Para melhorar a eficiência do aquecimento pode-se envolver completamente os tubos de aquecimento com massas especiais que possuem um alto coeficiente de transmissão de calor, fazendo ao mesmo tempo com que a massa fique em contato com uma larga faixa da parede do tubo a aquecer. Com o uso dessas massas é possível, em alguns casos, diminuir o número de tubos de aquecimento, podendo-se admitir, em média, que a eficiência do aquecimento fique multiplicada por 3, em relação à instalação com tubos nus.

9. *Fixação dos tubos de aquecimento* — Os tubos de aquecimento devem ser amarrados de metro em metro na tubulação a aquecer por meio de arame galvanizado ou de cintas de aço inoxidável. Esse espaçamento deve ser diminuído quando forem empregadas massas transmissoras de calor.

Os tubos de aquecimento também devem ser amarrados o mais próximo possível de válvulas, ligações flangeadas e curvas de expansão existentes na tubulação a aquecer, para evitar movimentos que possam danificar o isolamento térmico. Em todos os pontos de amarração os tubos de aquecimento devem ser deixados relativamente frouxos, sem apertá-los contra a tubulação a aquecer, para não impedir os movimentos de dilatação.

16.4 Aquecimento Elétrico

O sistema de aquecimento elétrico consiste, como já vimos, na colocação de fios elétricos longitudinalmente ou em helicóide, por fora da tubulação a aquecer, pelos quais circula uma corrente de baixa voltagem e de grande intensidade. Os fios são presos à tubulação por meio de arame galvanizado ou de cintas de aço inoxidável, da mesma forma que os tubos de aquecimento. Usam-se também as massas transmissoras de calor para envolver os fios elétricos, melhorando a eficiência do aquecimento.

Tabela 16.3

Pressão do Vapor(Para a Atmosfera) (MPa) (≃ kg/cm²)	*Soma Total das Elevações de Cota (m)*	*Valor Máximo de Cada Elevação de Cota (m)*
0,14 a 0,17 (≃ 1,4 à 1,7)	3,0	1,0
0,17 a 0,35 (1,7 a 3,5)	6,0	1,0
0,35 a 0,42 (3,5 a 4,2)	7,5	3,0
0,42 a 0,53 (4,2 a 5,3)	9,0	3,0
0,53 a 0,70 (5,3 a 7,0)	12,0	3,0
0,70 a 1,05 (7,0 a 10,5)	18,0	6,0
1,05 a 1,4 (10,5 a 14,0)	24,0	6,0

Extraído da norma N-42, da PETROBRÁS (Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS).

A intensidade da corrente é regulada por um termostato cujo bulbo é fixado à tubulação medindo a temperatura da parede da mesma. Consegue-se assim controlar o aquecimento com bastante precisão. A corrente elétrica aproveita, para o aquecimento, não só o efeito de resistência elétrica, como também o efeito das correntes parasitas (correntes de Foucault).

O aquecimento elétrico é um sistema de custos inicial e operacional relativamente altos, razões pelas quais é pouco empregado. Tem, no entanto, várias vantagens sobre os outros sistemas:

1. Muito bom controle do aquecimento.
2. Aquecimento rápido, de partida instantânea, e uniforme em toda a tubulação, porque não há queda de temperatura ao longo dos fios elétricos (como acontece nos tubos de vapor).
3. Baixo custo de manutenção.

Esse sistema de aquecimento é muito adequado ao caso das tubulações de grande extensão, para as quais, no sistema tradicional, seria necessário transportar o vapor a longas distâncias (com alto custo e grandes perdas), apenas para alimentar os tubos de aquecimento.

Existem também condutores elétricos especiais para o aquecimento de tubulações, que já são fornecidos embutidos em fitas adesivas. Com o emprego desses condutores a instalação fica facílima, porque eles aderem diretamente à tubulação, dispensando a amarração e melhorando as condições de troca de calor.

16.5 Finalidades e Empregos dos Isolamentos Térmicos

Todos os isolamentos térmicos têm por finalidade geral reduzir as trocas de calor da tubulação para o meio ambiente, ou vice-versa. Distinguem-se duas classes gerais de isolamentos térmicos:

— Isolamentos para linhas quentes, isto é, para tubulações cuja temperatura de operação seja superior à temperatura ambiente.
— Isolamentos para linhas frias, isto é, para tubulações cuja temperatura de operação seja inferior à temperatura ambiente.

Tanto para as linhas quentes como para as frias, o isolamento térmico pode ser usado por diversas razões, com finalidades específicas diferentes, que são as seguintes:

1. *Motivo econômico* — As perdas de calor ou de frio para o exterior representam um desperdício da energia empregada no aquecimento, ou na refrigeração do fluido contido na tubulação. O emprego do isolamento térmico resulta, portanto, em economia de energia. Sobre esse assunto, deve-se chamar atenção para o fato de que o grande aumento do custo da energia havido nos últimos anos elevou enormemente a importância dos isolamentos térmicos como fator de economia, tornando necessário, em muitos casos, aperfeiçoar os isolamentos existentes, bem como isolar tubulações que anteriormente não se justificavam.

2. *Motivo de serviço* — Em muitos casos, independente de razões econômicas, o isolamento térmico deve ser aplicado por exigências da natureza do serviço, seja para manter o fluido em uma determinada temperatura, seja para conseguir que o fluido possa chegar ao destino com a temperatura desejada. A manutenção de um fluido em uma determinada temperatura pode ser necessária, entre outras razões, para evitar o congelamento, a vaporização, a polimerização ou transformações químicas no fluido.

3. *Proteção pessoal* — O isolamento térmico pode também ser necessário para evitar queimaduras em alguém que se encoste na tubulação, ou, para evitar o desconforto da excessiva irradiação de calor.

O isolamento para linhas frias pode ainda ser necessário por uma outra razão, que é evitar a formação de orvalho ou de gelo na superfície das tubulações, provenientes da condensação da umidade do ar. O orvalho se forma nas tubulações cuja temperatura seja inferior à ambiente, mas superior a 0°C; o gelo se forma nas tubulações cuja temperatura seja inferior a 0°C.

Na rotina usualmente empregada nos projetos, cabe à equipe de projeto de processo, a indicação de todas as tubulações que devam receber isolamento térmico por motivo de serviço. Será incumbência da equipe de projeto mecânico, a indicação das tubulações que devam ser isoladas por qualquer uma das demais razões, bem como a escolha dos tipos e a determinação das espessuras de todos os isolamentos térmicos.

Em geral, as tubulações quentes só são isoladas por motivo econômico quando trabalham a mais de 80°C. Entretanto, todas as tubulações com temperaturas inferiores a 0°C costumam ser isoladas, por motivo econômico ou para evitar a formação de gelo. Um isolamento térmico bem feito pode evitar cerca de 90% das trocas de calor que haveriam se o tubo não fosse isolado, e o custo do isolamento é apenas uma pequena fração do custo anual da energia economizada. Pode ser dispensado o isolamento — quando não houver risco de acidentes pessoais — em tubulações curtas ou de funcionamento intermitente, mesmo quando trabalhando em altas temperaturas.

O isolamento térmico para proteção pessoal deve ser aplicado em todas as tubulações com temperatura acima de 60°C, ou abaixo de 0°C, nas quais seja razoável supor a possibilidade do contato de pessoas. Em geral esse isolamento é empregado nas tubulações situadas a menos de 2 m de altura, ou a menos de 1 m de distância de qualquer piso de operação. Onde for possível e econômico, o isolamento térmico de proteção pessoal pode ser substituído por grades ou guardas de proteção.

Os isolamentos térmicos por motivos de serviço podem ser aplicados, evidentemente, a tubulações de quaisquer temperaturas, tanto quentes como frias.

Nas "Folhas de Dados de Tubulação", e também nos desenhos isométricos, devem ser indicadas todas as tubulações que devam receber isolamento térmico (por qualquer dos motivos citados) e o respectivo tipo de isolamento.

16.6 Sistemas de Colocação dos Isolamentos Térmicos

Existem dois sistemas gerais de colocação do isolamento térmico: isolamento externo e isolamento interno.

O isolamento externo, colocado por fora das tubulações, é empregado em todas as tubulações frias e na quase totalidade das tubulações quentes. Veremos, no Item 16.10, diversos detalhes de sua aplicação.

O isolamento interno (isolamento refratário) é usado exclusivamente em algumas linhas de grande diâmetro (mais de 600 mm), para serviço em temperatura muito elevada. Esse isolamento tem por finalidade não só diminuir as perdas de calor para o exterior, como, principalmente, evitar o contato do fluido com a parede metálica da tubulação, mantendo mais baixa a temperatura da parede e permitindo assim o emprego de um material menos nobre para a tubulação. Se tivermos, por exemplo, o fluido interno a 700°C, com o uso do isolamento refratário pode-se reduzir a temperatura de parede para 350°C, permitindo o emprego de aço-carbono na tubulação. Se não houvesse o isolamento interno, seria necessário empregar aços inoxidáveis ou ligas de níquel, todos materiais de alto custo. Em alguns casos, o isolamento interno pode também servir como revestimento antierosivo ou antiabrasivo.

O isolamento interno é sempre feito com argamassas de cimento refratário aplicados a pistola, vibração, bombeamento, ou a mão, só podendo por isso ser empregado em tubulações cujo diâmetro permita a entrada de pessoas, o que significa um valor mínimo de 600 mm. Para dar maior segurança no revestimento refratário, evitando trincas e desprendimento de pedaços, solda-se, por pontos, no interior da tubulação, uma tela metálica de aço inoxidável, que ficará embutida e recoberta pelo revestimento (Fig. 16.10), como já referido no Item 2.19. A espessura total do revestimento costuma ser de 19 a 125 mm.

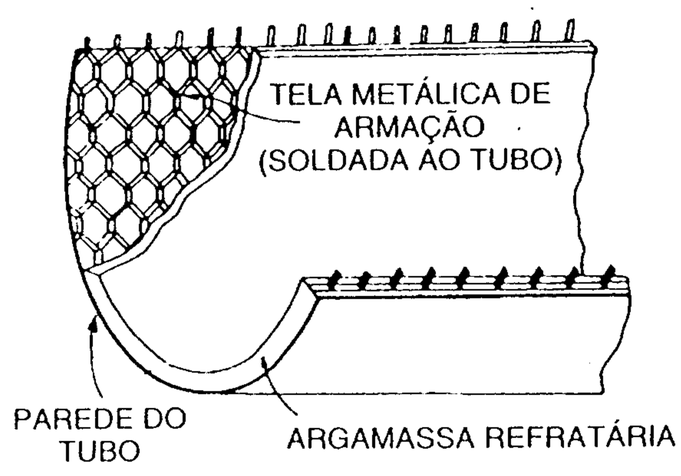


Fig. 16.10 Revestimento refratário interno.

16.7 Materiais Usados para o Isolamento Térmico Externo

A Tabela 16.4 resume os materiais mais comumente empregados para o isolamento térmico externo das tubulações.

Observações sobre a Tabela 16.4:

1. Material muito usado para tubulações quentes.
2. Material especificado nas normas P.NB-141 e P.EB-221, da ABNT, e C345, da ASTM.
3. Material de emprego tradicional antes do aparecimento do hidrossilicato de Ca.
4. Material especificado na norma C320, da ASTM.
5. Material de custo mais elevado, podendo entretanto ser mais econômico devido à menor condutividade térmica.
6. Material flexível e capaz de absorver grandes dilatações do tubo.
7. Material não recomendado para tubulações sujeitas a cargas externas.
8. Material de custo elevado e de condutividade térmica relativamente alta, resultando assim maior perda de calor. Só deve, portanto, ser usado para temperaturas superiores a 650°C (acima do limite dos outros materiais); para esses casos é comum o uso do isolamento em duas camadas, sendo a camada interna de sílica diatomácea, e a externa, de outro material.
9. Material macio, flexível e leve.
10. Material muito usado para tubulações de baixas temperaturas.
11. Para uso em baixas temperaturas exige-se barreira de vapor.
12. Material moldado ou granulado e aglutinado.
13. Material de boa resistência a choques e vibrações.
14. Emprego para tubulações pouco importantes ou como segunda camada para recobrir outros materiais isolantes.

Para qualquer emprego em tubos de aços inoxidáveis o material de isolamento térmico deve ser isento de cloretos.

Chama-se atenção que o manuseio de alguns materiais isolantes (lã de vidro, e, sobretudo, amianto, ou composições contendo amianto) é perigoso para a saúde, oferecendo risco no contato com a pele e principalmente na respiração, sendo por isso indispensáveis as devidas precauções de segurança. O amianto é comprovadamente um agente cancerígeno, e assim, além de severas restrições dos órgãos governamentais de meio ambiente, há uma tendência mundial em se proibir a sua utilização. Vários materiais de isolamento térmico — como é o caso do hidrossilicato de Ca —, que tradicionalmente continham fibras de amianto, estão sendo agora produzidos e anunciados como isentos de amianto.

16.8 Espessuras dos Isolamentos Térmicos

A espessura a ser adotada para um isolamento térmico deveria, teoricamente, resultar de cálculos feitos, tanto

Tabela 16.4

Material	*Limites de temperatura* °C	*Resistência à*			*Condutividade térmica média* BTU·pol/h·pe.² °F					*Observações (veja página 231)*
		Água ou umidade	*Fogo*	*Danos Mecânicos*	a 40°C	a 100°C	a 200°C	a 300°C	a 400°C	
Isolantes térmicos rígidos										
Materiais em forma de calhas ou segmentos pré-moldados										
Hidrossilicato de Ca	até 1.000	Boa	Boa	Boa à compressão, fraca à tração	0,38	0,40	0,47	0,57		1, 2
Composição de Mg 85%	até 320	Fraca	Boa	Boa à compressão, fraca à tração	0,40	0,43	0,51	0,59		3, 4
Lã mineral (lã de rocha) — sílica em fios	até 900	Boa	Excelente	Fraca	0,32	0,37	0,50	0,64	0,77	5, 6, 7
sílica diatomácea (terra diatomácea)	até 1.000	Fraca	Regular	Fraca	0,58	0,60	0,68	0,78	0,86	7, 8
Lã de vidro	— 180 a 540	Excelente	Excelente	Fraca	0,25	0,28	0,30			9, 11
Espuma de plástico (poliestireno expandido)	— 50 a 80	Excelente	Não resiste	Regular	0,40					10, 11
Cortiça	— 50 a 80	Boa	Não resiste	Regular	0,25	0,26				11, 12, 13
Isolantes térmicos flexíveis										
Materiais em forma de mantas (tecidos)										
Amianto	até 400	Boa	Excelente	Regular	0,47	0,50	0,57	0,65		14
Lã mineral	Como acima									
Lã de vidro										
Materiais plásticos aplicados por "spray"										
Poliuretanos	— 240 a 100	Boa	Não resiste	Regular	0,14					11

Nota geral: Os dados de condutividade térmica são aproximados, servindo apenas como base de comparação.

para o emprego por motivos econômicos, como para o emprego por motivos de serviço. No primeiro caso, a espessura ideal resultaria do estudo de comparação econômica entre o custo do isolamento e o custo da energia dissipada pelas trocas de calor ao longo da tubulação. No segundo caso, para que uma determinada temperatura seja mantida, a espessura do isolamento deverá ser tal que as trocas de calor através do isolamento sejam compensadas pela quantidade de calor fornecida pelo fluido em movimento. Veremos, no item a seguir, como podem ser feitos esses cálculos para ambos os casos acima.

Na prática, entretanto, raramente a espessura do isolamento é determinada por cálculos, não só porque é difícil a obtenção de dados numéricos confiáveis, como também porque esses cálculos poucas vezes se justificam.

A eficiência de um isolamento térmico varia muito em função de certas circunstâncias locais, tais como localização da tubulação, temperatura ambiente, umidade do ar e velocidade do vento. Por essa razão, os dados fornecidos pelos fabricantes sobre coeficientes de transmissão de calor devem ser tomados com a devida reserva, mesmo porque geralmente são elementos obtidos em experiências de laboratório, em condições bastante diferentes das reais.

Para a grande maioria dos casos, na prática, adotam-se simplesmente as espessuras já consagradas pelo uso e fornecidas em tabelas de diversos autores, como a exemplificada na Tabela 16.5. Essas tabelas dão as espessuras usuais para os diversos diâmetros dos tubos, temperaturas de trabalho e materiais de isolamento. As espessuras fornecidas nas tabelas são para os isolamentos por motivo econômico e para a manutenção da temperatura. Os isolamentos para proteção pessoal costumam ser de espessura 25 mm menor, com a espessura mínima de 25 mm. É importante observar que as constantes variações do custo da energia tendem a tornar obsoletos, dentro de certo tempo, todos os dados práticos de espessuras de isolamento; por esse motivo, esses dados devem ser empregados com cautela, principalmente quando forem relativamente antigos.

Na Tabela 16.5, tirada da norma N-550, da PETROBRÁS, as espessuras dadas referem-se a isolamento de hidrossilicato de cálcio; a temperatura ambiente considerada é de 25°C, com velocidade de vento nula, e os custos da energia e do isolamento são os vigentes em 1981. Note-se que as espessuras econômicas do isolamento térmico são também função do tempo de vida considerado para o isolamento, da taxa de retorno do investimento, dos custos de manutenção e da eficiência da conversão da fonte geradora de energia, sendo todos esses fatores variáveis, em cada caso.

Nos casos em que seja necessário um controle mais rigoroso da temperatura, ou quando as perdas de calor devam ser reduzidas ao mínimo, as espessuras do isolamento deverão ser aumentadas, porque as tabelas representam sempre valores médios. As espessuras também deverão ser aumentadas para as tubulações situadas em ambientes de baixa temperatura, de grande umidade, ou para as tubulações muito expostas ao vento e à chuva.

Os isolamentos para linhas frias têm sempre proporcionalmente espessura maior do que os isolamentos para linhas quentes, porque o custo das perdas de frio costuma ser bem superior ao das perdas de calor.

Para o isolamento de tubulações muito importantes ou muito longas, para as quais as trocas de calor representam um grave problema econômico ou de funcionamento, recomenda-se que as espessuras do isolamento térmico sejam calculadas diretamente.

Tabela 16.5

Espessura do isolamento térmico da tubulação (mm) Hidrossilicato de cálcio

Diâmetro nominal (pol).	*Temperatura de operação da tubulação* (°C)													
	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600
3/4	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	63	63
1	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	63	63
2	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	76	76
3	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	76	76	89
4	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	76	76	89	89
6	25	25	38	38	51	51	63	63	76	76	89	102	102	114
8	25	25	38	38	51	51	63	76	76	89	102	114	114	126
10	25	38	38	51	51	63	63	76	89	102	102	114	126	126
12	25	38	38	51	63	63	76	76	89	102	114	126	126	126
14	25	38	38	51	63	63	76	89	89	102	114	126	126	126
16	25	38	51	51	63	63	76	89	102	102	114	126	126	126
20	25	38	51	51	63	63	76	89	102	114	126	126	126	126
24	25	38	51	51	63	63	76	89	102	114	126	126	126	126

(Tirada da norma N-550, da PETROBRÁS. Cortesia de Petróleo Brasileiro S.A. — PETROBRÁS.)

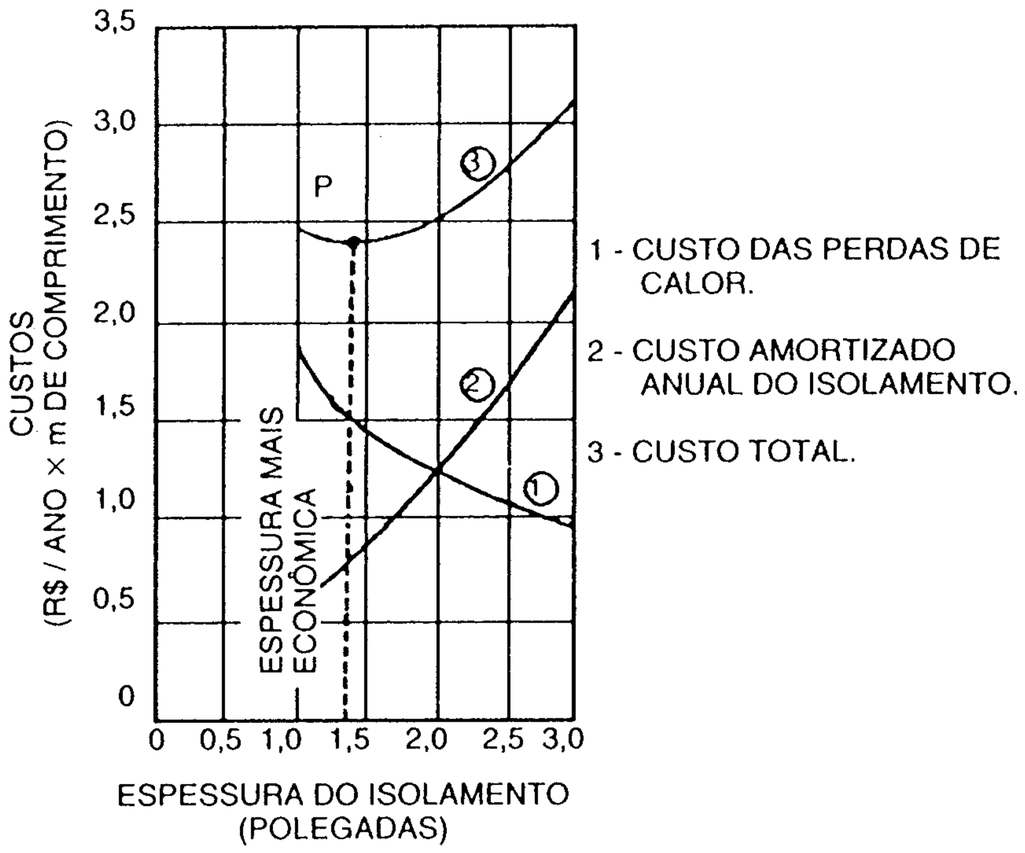


Fig. 16.11

16.9 Cálculo da Espessura do Isolamento Térmico

Vamos distinguir os dois casos já referidos acima:

1. *Espessura calculada por motivo econômico* — Como já dissemos, a espessura ideal para o isolamento térmico resultará da comparação econômica entre o custo do isolamento e o custo da energia perdida. Quanto maior for a espessura do isolamento maior será o seu custo, e menor será o custo da energia perdida, e vice-versa. Haverá, portanto, para cada caso, um ponto ótimo, que corresponderá ao menor custo somado do isolamento e das perdas de calor. Para determinar esse ponto, traça-se em um gráfico as curvas de variação dos custos do isolamento e da energia perdida, em função da espessura do isolamento. Esse gráfico terá o aspecto mostrado na Fig. 16.11; a espessura ideal será a correspondente ao ponto *P*, no qual a curva da soma dos custos passa por um mínimo. Para o traçado dessas curvas, considera-se geralmente o custo anual da energia perdida, e a parcela do custo do isolamento correspondente à amortização de um ano, isto é, o quociente do custo total do isolamento instalado dividido pelo número de anos de vida útil prevista.

A quantidade de calor trocada através do isolamento térmico pode ser avaliada pela seguinte fórmula:

$$Q = \frac{2\pi K L (T_s - T_a)}{2{,}3 \log \frac{r_e}{r_i} + \frac{K}{r_e (h + 0{,}9\, h_r)}}$$

em que

Q = quantidade de calor trocada na unidade de tempo (BTU/hora).
K = coeficiente de condutividade térmica do isolamento considerado para a temperatura em questão (BTU/pé × hora × °F).
L = comprimento do tubo (pés).
T_S = temperatura do tubo (°F).
T_a = temperatura ambiente (°F).
r_e = raio externo do isolamento (pés).
r_i = raio interno do isolamento (pés).
h = coeficiente de convecção (BTU/pé² × hora × °F).
h_r = coeficiente de radiação (BTU/pé² × hora × °F).

Os coeficientes K, h e h_r variam em função do tipo do isolamento, da temperatura ambiente, do diâmetro e localização da tubulação, da velocidade do ar etc. Embora existam muitas tabelas com valores recomendados para esses coeficientes, nos problemas da prática, toda dificuldade consiste justamente em se adotar valores coerentes para os mesmos.

2. *Espessura calculada por motivo de serviço* — Para que uma determinada temperatura seja mantida no fluido é necessário que a quantidade de calor (ou de frio) perdida através do isolamento, seja exatamente equivalente à quantidade de calor (ou de frio) introduzida pelo fluido em movimento.

A quantidade de calor (ou de frio) introduzida, na unidade de tempo, em uma determinada tubulação pelo fluido circulante, é dada pela expressão:

$$Q_i = m\, c\, \Delta t.$$

em que

m = peso de fluido que entrou na tubulação durante o tempo considerado (kg/hora).
c = calor específico do fluido na temperatura média considerada (Cal/kg × °C).
Δt = maior diferença de temperatura que possa haver entre o fluido que entra e o fluido da tubulação (°C).

A espessura a adotar será então aquela que corresponder a um valor de Q (calculado pela fórmula anterior), igual ao valor de Q_i.

16.10 Aplicação do Isolamento Térmico Externo

O isolamento térmico para tubulações quentes deve ser aplicado sobre a superfície metálica completamente limpa, livre de ferrugem, respingos de solda, óleos, graxas, tintas, e quaisquer outras impurezas. Para tubulações com temperatura de operação inferior a 120°C — inclusive as de baixas temperaturas ou criogênicas —, e também para algumas tubulações de serviço intermitente, recomenda-se a aplicação de uma pintura anticorrosiva antes da colocação do isolamento térmico.

Nos trechos retos de tubos o isolamento térmico é geralmente aplicado em forma de peças pré-moldadas. Para tubos até 10″ fabricam-se calhas abrangendo meia-cir-

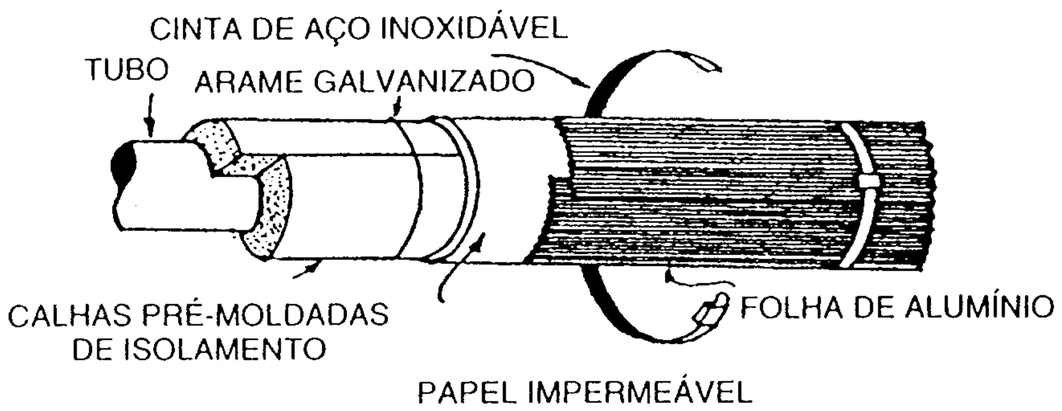


Fig. 16.12 Isolamento térmico externo.

cunferência, e ajustando-se à superfície externa dos tubos. Para os tubos de diâmetros maiores empregam-se segmentos retos ou calhas abrangendo um quarto.da circunferência, ou menos. As calhas e os segmentos são amarrados ao tubo por meio de arames galvanizados, ou fitas de aço inoxidável, cujo espaçamento deve ser de cerca de 250 mm.

Para proteger o isolamento da chuva e da umidade, e também de sobrecargas externas, coloca-se por fora das calhas, um invólucro impermeável, geralmente de papelão betuminoso, e depois uma proteção de chapas de alumínio corrugado ou de aço galvanizado (Fig. 16.12). Essas chapas de proteção devem ter um recobrimento mínimo de 50 mm entre si, para evitar a entrada de água. As chapas de proteção são presas por meio de cintas de aço inoxidável, colocadas com espaçamento de 0,5 m. Existem no comércio chapas de alumínio corrugado nas quais já estão coladas internamente folhas de papelão "kraft" impermeável, que dispensam por isso a colocação da folha de papel sobre as calhas pré-moldadas.

Deve ser evitado o contato direto das chapas de alumínio nos materiais isolantes, que em geral são alcalinos e podem promover uma rápida corrosão do alumínio em meio úmido; as folhas de papelão "kraft" constituem uma proteção eficiente contra esse contato direto. As especificações mais usuais das chapas de alumínio são as ligas n.^{os} 3003, 3004 e 5005, da classificação da "Aluminum Association".

A proteção externa do isolamento é particularmente importante nas tubulações com temperatura abaixo de 0°C, porque, nesse caso, a umidade que conseguisse penetrar formaria por condensação uma capa de gelo em volta do tubo que, pelo aumento de volume, acabaria causando a desagregação completa do isolamento. Nas tubulações de baixa temperatura deve haver por isso uma barreira impedindo totalmente a penetração da umidade, o que se consegue fechando-se as juntas das calhas e segmentos com massas de vedação apropriadas, e colando-se o papelão ou feltro impermeável com adesivos especiais. A penetração de água ou de umidade no isolamento, mesmo quando a temperatura não for suficientemente baixa para causar o congelamento, deve ser evitada porque aumenta a condutividade térmica, diminuindo a eficiência do isolamento, e também porque causa o apodrecimento de muitos dos materiais isolantes. A barreira impermeável (denominada comumente de "barreira de vapor") pode ser feita também com massa asfáltica, com armação de fibras, aplicada a quente, formando uma camada contínua.

A barreira impermeável é também importante em locais onde seja possível o derramamento ou o respingo de óleos ou de produtos químicos sobre a tubulação, para evitar que esses produtos penetrem ou sejam absorvidos pelo material isolante, o que além de prejudicar o isolamento pode constituir grave risco de incêndio.

Nas linhas aquecidas com tubos externos de vapor, as calhas de isolamento térmico devem ser de tipo especial (denominadas "perna longa") ou apropriadas para um diâmetro comercial maior, de maneira a poderem conter os tubos de aquecimento dentro do isolamento. Quando existem tubos externos de aquecimento, costuma-se colocar uma calha de chapa fina entre o tubo de aquecimento e o isolamento térmico. Essa calha serve para evitar que o material desagregado do isolamento térmico deposite-se no espaço em volta dos tubos de aquecimento, perturbando a transmissão de calor.

Em isolamentos térmicos com espessuras superiores a 50 mm, é comum o uso de duas ou mais calhas pré-moldadas concêntricas superpostas. A superposição das calhas deve ser feita de modo que tanto as juntas longitudinais como as transversais fiquem desencontradas, diminuindo assim as perdas de calor. A calha externa poderá ser de material mais barato proque não estará sujeita a temperaturas tão altas.

Para as tubulações que devido à sua localização não haja possibilidade de sobrecargas ou a outros esforços mecânicos externos, pode-se substituir as chapas protetoras por uma cobertura de lona costurada e pintada a óleo, diminuindo o preço global do isolamento. Em tubulações secundárias e com temperaturas até 150°C, pode-se adotar um sistema de isolamento mais barato, consistindo em tecidos ou em fios de amianto enrolados em volta do tubo e recobertos com papelão betuminoso ou com lona costurada e pintada a óleo.

No ponto mais baixo de todos os trechos verticais de tubo, com mais de 3 m de comprimento, devem ser colocados anéis de chapa, soldados ao tubo, para sustentar o peso do isolamento térmico.

Nas superfícies irregulares, tais como válvulas, filtros etc., bem como nos flanges, curvas, derivações, reduções e outras conexões, o isolamento térmico pode ser feito de várias maneiras:

1. Cobrindo-se a superfície com pedaços de calhas pré-moldadas, compostos e amarrados com arame. O conjunto é depois recoberto com argamassa isolante, armada com tela de arame ou tela de lã de vidro.
2. Isolamento completo com argamassa isolante, armada com tela de arame, envolvendo toda peça.
3. Empregando-se peças pré-moldadas especiais adaptáveis a vários tipos de conexões. O conjunto será depois recoberto com tela de arame e com argamassa isolante.

Para tubulações quentes, o isolamento térmico deve ser biselado a 45° nas proximidades de qualquer flange, para permitir o manuseio dos parafusos e para evitar que os

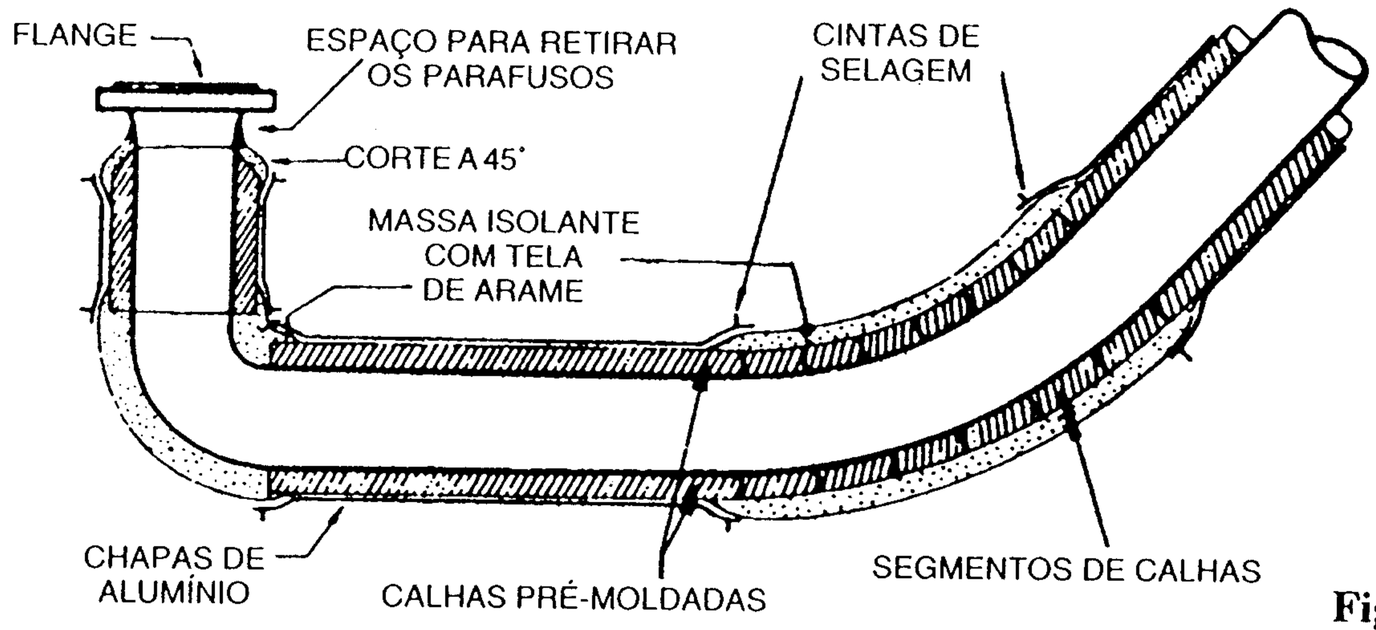


Fig. 16.13 Isolamento térmico de flanges e conexões.

mesmos fiquem embutidos no isolamento. Para as tubulações frias todas as ligações flangeadas devem ser completamente envolvidas pelo isolamento térmico; as válvulas também devem ser isoladas pelo menos até a ligação do corpo ao castelo da válvula.

A Fig. 16.13 mostra o isolamento térmico de flanges e de conexões.

No caso de tubulações frias, o remate do isolamento térmico entre os trechos retos de tubo e as conexões deve ser feito com o máximo cuidado, porque são sempre pontos fracos por onde pode penetrar a umidade.

Em qualquer isolamento térmico devem ser deixadas, de espaço em espaço, folgas entre os blocos ou calhas de isolamento, formando juntas de expansão, que são preenchidas com massas isolantes macias e elásticas.

Os purgadores de vapor tipos panela invertida, panela aberta, termodinâmico e termostáticos, não devem ser isolados; os purgadores tipos de bóia e de impulso poderão ou não ser isolados, a critério do projetista ou do usuário. As juntas de expansão e as uniões de tubulação não devem ser isoladas.

Em qualquer caso, o isolamento térmico de tubulações só deve ser aplicado após o teste hidrostático das mesmas.

16.11 Pintura das Tubulações Industriais

Todas as tubulações de aço-carbono, de aços-liga e de ferro, não enterradas e que não tenham isolamento térmico externo, devem obrigatoriamente receber algum tipo de pintura. A pintura industrial tem por principal finalidade proteger o material contra a corrosão atmosférica, servindo também para dar melhor aparência à instalação, e permitir a imediata identificação das tubulações, mediante o uso de um código de cores para os diversos serviços ou fluidos conduzidos. A corrosão atmosférica é principalmente severa na orla marítima e em atmosferas industriais poluídas, quando maior atenção deve ser dada à especificação e à execução das pinturas.

As tubulações de aços inoxidáveis, de metais não-ferrosos e as não-metálicas, como em geral são imunes à corrosão atmosférica, raramente necessitam de pintura: podem, entretanto, ser pintadas por questões de aparência ou de facilidade de identificação.

Qualquer pintura exige sempre uma adequada preparação prévia da superfície; a pintura será tanto mais durável e resistente quanto melhor tiver sido essa preparação. Para superfícies metálicas a preparação consiste na limpeza completa da superfície, removendo-se ferrugem, escamas de laminação, terra, graxas, tintas, óleos e quaisquer outras substâncias estranhas.

A pintura deve ser feita por ocasião da montagem — após o teste hidrostático —, e depois renovada algumas vezes durante a vida útil da tubulação. Fazer uma boa pintura e em seguida mantê-la em boas condições, retocando-a assim que apresentar os primeiros pequenos defeitos, e renovando-a periodicamente, é o meio melhor e mais econômico de prolongar a vida da tubulação e também evitar a ocorrência de muitos acidentes.

Devido ao grande investimento que representa o sistema de tubulações, às condições atmosféricas agressivas muitas vezes encontradas nas indústrias, e também ao alto custo de uma boa pintura, a correta seleção e especificação de todo o procedimento de pintura — inclusive especificações de tintas e sistemas de aplicações, especificação da preparação da superfície, da inspeção da pintura, etc. —, é um problema complexo e muito importante. Não vamos entrar aqui em muitos detalhes sobre esses assuntos, que fogem ao âmbito deste livro. Muita bibliografia existe sobre pintura industrial, podendo-se recomendar os seguintes livros:

— "Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva", de Laerce de Paula Nunes e Alfredo Carlos O. Lobo.
— "Pintura Industrial Aplicada", de Ney Vieira Nunes.

16.12 Preparação das Superfícies para a Pintura

Muitos processos existem de limpeza e preparação das superfícies metálicas para a pintura:

— Limpeza química { com solvente; com álcalis; com ácidos.

— Limpeza com jato de vapor.
— Limpeza com jato abrasivo.

— Limpeza mecânica { elétrica; pneumática.

— Limpeza manual.

A limpeza com solventes e com álçalis, quando bem feita, remove completamente óleos, graxas e tintas, não servindo entretanto para a retirada de crostas e escamas de ferrugem, nem de carepas de laminação. No caso que nos interessa, das tubulações industriais, esses sistemas de limpeza são empregados apenas para a remoção local de manchas de óleos, graxas e tintas, antes da aplicação de outros métodos de limpeza. Os álcalis devem ser completamente removidos, por lavagem com água, antes da pintura.

A limpeza com ácidos dá excelentes resultados, mas é um processo muito caro e complicado, limitando-se o seu uso a pequenas peças fabricadas em oficinas, para as quais seja necessário uma pintura de alta qualidade. O melhor sistema é a chamada "decapagem" (pickling) que consiste na imersão completa da peça em um banho quente de ácido fosfórico. A decapagem deixa a superfície metálica inteiramente livre de impurezas, inclusive ferrugem, e recoberta por uma fina camada de fosfato de ferro que facilita a aderência da tinta.

A limpeza com jato de vapor, que também é um processo caro, é empregada principalmente para a remoção local de grossas crostas de tintas e de graxas.

A limpeza com jato abrasivo (blast cleaning) é o método mais empregado em oficinas e fábricas, seja para a preparação para a pintura de peças pré-montadas, seja para a preparação de varas de tubos e outras peças avulsas. Consiste em fazer incidir sobre a peça metálica um forte jato abrasivo, impulsionado quase sempre por ar comprimido, podendo o jato ser de areia abrasiva, granalha de aço ou outros meios abrasivos. O emprego de jato de areia, está sujeito, já há algum tempo, a severas restrições dos órgãos governamentais de meio ambiente, devido à formação de intensa nuvem abrasiva no local, só sendo permitido em recintos fechados especiais e com o uso obrigatório de máscaras e roupas apropriadas para a proteção dos operadores.

É usual distinguir-se, pelo menos, dois graus de jateamento, denominados de "limpeza ao metal branco" e de "limpeza comercial". O primeiro consiste na remoção completa de todas as impurezas, deixando o metal brilhante; é raramente usado por ser muito caro. A limpeza comercial é mais barata e menos exigente, permitindo pequenos vestígios de ferrugem; é o sistema comumente usado em oficinas.

A limpeza mecânica é o processo geralmente empregado no interior de instalações industriais, e também em oficinas, quando não é possível o emprego do jato abrasivo. A limpeza é feita por meio de escovas rotativas, martelletes e talhadeiras, acionadas a eletricidade ou a ar comprimido. Nunca se consegue um grau de limpeza equivalente ao metal branco, sendo entretanto possível a limpeza de qualidade próxima ao jato comercial. As manchas de óleos ou de graxas convém que sejam previamente removidas por processo químico. Com a limpeza mecânica não é possível retirar completamente as carepas de laminação das chapas. Quando a tubulação estiver em área onde houver risco de incêndio ou de explosão, devem ser usadas ferramentas especiais contra centelhas.

A remoção de respingos e outros restos de solda é normalmente feita por esmerilhamento.

A limpeza manual é feita por meio de escovas, lixas, raspadeiras, martelos, talhadeiras etc. Embora possa ser atingido um grau de limpeza equivalente à limpeza mecânica, esse processo é antieconômico, exceto para pequenas superfícies ou para retoques em locais inacessíveis por outros meios.

O sistema a ser usado para a limpeza depende principalmente do estado prévio da superfície e do tipo de tinta de fundo a ser empregada. De um modo geral, a limpeza deve ser tanto mais bem-feita quanto mais severas forem as condições de trabalho da pintura, isto é, quanto mais intensa for a corrosão atmosférica.

16.13 Tintas e Sistemas de Aplicação

Para superfícies metálicas a pintura compõe-se sempre de uma ou mais demãos de tinta de fundo, seguidas da tinta de acabamento. A principal proteção que a pintura dá ao metal consiste na formação de uma película impermeável que isola o metal do contato com a atmosfera. A proteção é por isso tanto melhor quanto mais espessa, aderente, resistente e contínua for a película de tinta. Por essa razão devem ser dadas, no total, pelo menos três demãos de tinta, para que seja atingida a espessura mínima necessária, e para que cada demão cubra as possíveis falhas e irregularidades da demão anterior. A espessura não deve, porém, ser excessiva, porque prejudicaria a adesão. São as seguintes as espessuras totais finais recomendadas, de acordo com o ambiente:

— Imersão permanente em água salgada	300 μm
— Atmosfera altamente agressiva	250 μm
— Atmosfera medianamente agressiva	160 μm
— Atmosfera pouco agressiva	120 μm

Algumas tintas de fundo contêm aditivos cuja função é inibir a formação de ferrugem, ou funcionar como proteção catódica (tintas com pigmento de zinco, por exemplo).

Em qualquer caso, é necessário que a tinta de fundo seja capaz de "molhar" a superfície, isto é, formar uma película contínua.

Para a pintura de tubulações industriais, as tintas de fundo mais empregadas são as tintas de óleo de linhaça, com pigmentos de zarcão, óxido de ferro ou cromato de zinco. Essas tintas são capazes de molhar uma superfície com vestígios de ferrugem, não exigindo assim uma limpeza absoluta, sendo o jato de areia comercial ou a limpeza mecânica perfeitamente satisfatórios. São também bastante usadas, como tintas de fundo, as tintas de resina "epoxi" com pigmento de zinco. Essas tintas dão uma proteção bem superior à conseguida com as tintas de óleo de linhaça, exigindo porém melhor limpeza da superfície, no mínimo com a qualidade do jato de areia comercial. Devido ao alto preço dos pigmentos de chumbo a pintura com as tintas epóxi-Zn é freqüentemente mais eçonômica do que o zarcão com óleo de linhaça, apesar do encarecimento no preparo da superfície.

As tintas de acabamento protegem as tintas de fundo e dão a cor desejada. Em instalações industriais, as tintas de acabamento mais empregadas são as tintas de alumínio, com base de resinas acrílicas e fenólicas principalmente. Essas tintas são muito resistentes e têm um alto poder de reflexão luminosa. Empregam-se também como tintas de acabamento esmaltes sintéticos de várias cores. É necessário que a tinta de acabamento seja adequada à tinta de fundo usada, ou seja, que uma tenha perfeita adesão à outra.

As tintas comuns não resistem a temperaturas acima de 80°C. Existem, entretanto, muitas tintas resistentes a altas temperaturas; as tintas à base de silicones, por exemplo, dependendo da composição, podem trabalhar até a 500°C, sendo, entretanto, de aplicação bastante difícil.

De um modo geral, a economia raramente consiste no simples uso de tintas mais baratas, porque o custo das tintas nunca vai a mais de 20% do custo total da pintura. Também não se deve, apenas por economia, empregar as tintas que mais cobrem, porque essas tintas resultarão em uma película muito fina, exigindo maior número de demãos, ou dando uma proteção insuficiente.

Para tubulações industriais a aplicação das tintas pode ser a pincel (trincha), a rolo, ou a pistola. Qualquer desses sistemas dão resultados igualmente satisfatórios. A pintura a pistola em geral é mais rápida e mais barata, principalmente para superfícies lisas e grandes. A pintura a trincha e a rolo deve ser preferida para superfícies ásperas, e para locais pouco acessíveis como, por exemplo, os trechos dos tubos em contato com os suportes. Com o emprego da pistola deve-se tomar cuidado para que a película não fique muito delgada. Quase todas as tintas são compradas no comércio prontas para o uso. Por isso, exceto em casos especiais, não deve ser permitida a adição de solventes, sob o protexto de tornar mais fácil a pintura, porque a película de tinta ficaria excessivamente fina.

Cada demão de tinta só deve ser aplicada depois de a demão anterior estar completamente seca. Em geral, devem ser dadas duas demãos de tinta de fundo e duas de tinta de acabamento. Nunca se deve pintar em superfícies úmidas ou molhadas, nem quando houver incidência de nevoeiro, neve, ou vento forte. Também não se devem pintar peças que estejam em temperatura inferior a 10°; ou superior a 40°C. A primeira demão de tinta de fundo deve ser dada imediatamente após a limpeza, devendo-se repetir ou retocar a limpeza caso a superfície tenha apresentado sinais de sujeira ou de oxidação durante o tempo decorrido até a pintura.

Em montagens industriais onde há a pré-montagem de peças de tubulação, é recomendável que a limpeza e a pintura com tinta de fundo sejam feitas na oficina, antes da montagem no campo, porque, depois de tudo montado, o acesso em geral fica difícil para que esses serviços possam ser bem feitos, principalmente quando se emprega o jato abrasivo. A pintura em oficinas tem ainda as vantagens de não depender das condições atmosféricas e de permitir melhor supervisão para garantia da qualidade do serviço. Deve ser deixada, sem qualquer pintura, uma faixa de 100 mm, para cada lado, de todas as soldas, tanto soldas de oficina como soldas de campo, para facilitar a pesquisa de vazamentos no teste hidrostático. Esses pontos terão a pintura retocada depois de completados os testes.

Em alguns casos especiais de tubulações de aço, faz-se também uma pintura interna dos tubos, para protegê-los contra a corrosão pelo fluido circulante. É o caso por exemplo dos tubos de aço para água e para fluidos corrosivos. As tintas mais empregadas para pintura interna são as tintas de asfalto ou de alcatrão e as tintas de resinas sintéticas ("epóxi" e outras). Deve haver também uma preparação de superfície, feita geralmente por escovas rotativas, para os tubos pequenos, e por jato de areia ou escovas manuais nos tubos grandes (mais de 600 mm de diâmetro), nos quais seja possível a entrada de pessoas.

É possível a execução de pintura interna de alta qualidade, mesmo em tubos de pequeno diâmetro, pelo processo de "pintura eletrostática", que consiste resumidamente na pulverização da tinta por dentro do tubo, com uma pistola especial, estando o pigmento da tinta e o tubo carregados com cargas elétricas de sinais contrários. A atração eletrostática resultante produz um filme de tinta contínuo e de espessura uniforme e controlada.

As tintas de asfalto e de alcatrão resistem a muitos ácidos e álcalis, em temperaturas até 60°C; em mistura com resina epoxi podem resistir até 120°C. Nos tubos que possuam qualquer pintura interna não se deve fazer lavagem com vapor nem limpeza mecânica, porque resultará no amolecimento ou na destruição da pintura.

É importante observar que todos os serviços de pintura envolvem sempre um risco potencial de incêndio, devido ao fato de serem inflamáveis as tintas e solventes empregados, o que exige rigorosas precauções de segurança na armazenagem e manuseio desses materiais. A aplicação de tintas pode ser perigosa para a saúde, principalmente quando em locais confinados, ou pouco ventilados, exigindo-se, quando for o caso, o uso obrigatório de máscaras, roupas especiais e outras medidas de segurança.

A norma NB-54, da ABNT, recomenda o uso das

seguintes cores para a identificação de tubulações:

— verde	:	água.
— branco	:	vapor.
— azul	:	ar comprimido.
— alumínio	:	combustíveis gasosos ou líquidos de baixa viscosidade.
— preto	:	combustíveis e inflamáveis de alta viscosidade.
— vermelho	:	sistemas de combate a incêndio.
— amarelo	:	gases em geral.
— laranja	:	ácidos.
— lilás	:	álcalis.
— cinza-claro	:	vácuo.
— castanho	:	outros fluidos não especificados.

As cores de identificação podem ser pintadas na tubulação toda, ou apenas em faixas de espaço em espaço.

16.14 Proteção de Tubulações Enterradas e Submersas

As tubulações enterradas e submersas, exceto quando de materiais inertes (concreto, barro vidrado, plásticos etc.), devem receber uma proteção externa contra a corrosão. Essa proteção serve também para atenuar possíveis danos mecânicos e para controlar a ação eletrolítica de correntes elétricas subterrâneas.

No subsolo aparecem sempre correntes elétricas, que caminham pela tubulação, em conseqüência das diferenças de potencial entre o tubo e o solo, e de um ponto para outro do próprio solo. Embaixo d'água geram-se também correntes elétricas análogas pelos mesmos motivos. Dependendo da intensidade dessas correntes, a corrosão resultante é às vezes violenta, perfurando completamente em certos pontos a parede metálica da tubulação em pouco tempo.

Existem vários sistemas de proteção para tubulações enterradas ou submersas, sendo alguns dos mais usuais os descritos a seguir:

— Revestimento com esmalte de alcatrão de hulha (coal-tar): Aplicação a quente do esmalte de alcatrão de hulha — em espessuras de 3 a 8 mm —, depois de limpeza com escova ou jato abrasivo, e de pintura com tinta de fundo a base de elastômero. O esmalte deve ser imediatamente recoberto por uma camada de véu de fibra de vidro e outra de papel feltro. Apesar do baixo custo, esse sistema tem sido suplantado por outros mais modernos, devido principalmente aos sérios problemas de poluição ambiental durante a sua aplicação.

— Revestimento com asfalto. Aplicação semelhante ao acima descrito, substituindo-se o esmalte de alcatrão por asfalto. Tem menor custo, e vida mais curta do que o revestimento de alcatrão, e também tem sido substituído por sistemas mais modernos e mais eficientes.

— Revestimento com fitas plásticas, principalmente de polietileno. A fita é aplicada em helicoidal, depois da limpeza da superfície e da pintura com uma tinta de fundo. Deve haver uma sobreposição de metade da largura da fita em cada volta. É um revestimento de qualidade inferior, que pode entretanto ser empregado em trechos pequenos, ou em tubulações de baixa responsabilidade, ou ainda, para o reparo local de defeitos e falhas em outros revestimentos.

— Revestimento com polietileno — ou com polipropileno — extrudado. É um sistema moderno, em que é feita a extrusão da resina plástica diretamente sobre a superfície do tubo a proteger, depois de completa limpeza com jato abrasivo. O revestimento tem 3 a 5 mm de espessura e é muito resistente a danos mecânicos.

— Revestimento misto, à base de epóxi e polietileno extrudado. É o melhor tipo de revestimento atualmente disponível, reunindo boa aderência à superfície metálica, boa resistência a danos mecânicos, e excelente barreira contra a corrosão. Compõe-se de três camadas: a primeira de uma tinta de fundo a base de epóxi, aplicada eletrostaticamente; a segunda, uma camada de adesivo à base de polietileno, aplicada por extrusão, e finalmente uma camada de polietileno também aplicada por extrusão.

Todas as operações de limpeza da tubulação e de aplicação dos revestimentos e pinturas podem ser feitas por meio de máquinas automáticas especiais, cujo emprego é indicado principalmente para tubulações de grande extensão.

Em qualquer caso, o revestimento externo deve ser reforçado quando se tratar de solo particularmente agressivo, tais como solos muito úmidos, salgados ou ácidos.

É muito importante que o revestimento externo seja uniforme, ininterrupto, e completamente sem defeitos. Qualquer falha no revestimento, por pequena que seja, será sempre um ponto de menor resistência à corrosão; nesse ponto haverá então uma corrosão alveolar localizada (pitting), que poderá atacar a parede do tubo com muito maior intensidade do que se não houvesse revestimento algum. Por essa razão, antes de se enterrar a tubulação, deve ser feito um minucioso exame do revestimento, procedendo-se à cuidadosa reparação de qualquer defeito observado. A melhor maneira de examinar o revestimento é com o emprego de um aparelho que mede ininterruptamente a resistência elétrica do revestimento, à medida que vai sendo deslocado ao longo do tubo (Holiday detector). Evidentemente, em qualquer ponto onde houver um defeito, a resistência elétrica será menor, devido ao caráter dielétrico de todos os revestimentos.

16.15 Proteção Catódica

A proteção catódica é um sistema de controle da corrosão recomendado para tubulações enterradas ou submersas, principalmente quando importantes ou quando em solos muito agressivos, onde seja possível o aparecimento de correntes elétricas de grande intensidade.

Esse sistema consiste essencialmente em transformar a tubulação a proteger no catodo de uma célula eletroquímica, ou eletrolítica, ficando assim a corrosão termodinamicamente impossível, e, portanto, inexistente. Nos casos mais simples, isso é conseguido através dos "anodos de sacrifício", que são peças de metais altamente anódicos (Mg, Zn, Al), enterrados no solo de espaço em espaço e ligados eletricamente à tubulação. Na pilha galvânica que se forma, os anodos de sacrifício são consumidos, devendo ser substituídos ao fim de um certo tempo, ficando a tubulação protegida. Os anodos de sacrifício, quando bem projetados e bem colocados, constituem um recurso eficiente e econômico de controle da corrosão em tubulações enterradas, embora seja sempre exigido um constante cuidado de inspeção e substituição dos anodos quando necessário.

Como a diferença de potencial entre os anodos de sacrifício e o aço da tubulação é de apenas cerca de um volt, esses anodos podem não ser suficientes para manter a tubulação catódica em solos de grande resistividade, devendo-se então empregar o sistema de proteção catódica por "corrente impressa". Temos, agora, uma fonte externa de energia que introduz uma corrente contínua entre a tubulação e os anodos, que devem ser, nesse caso, de outros materiais, como grafita ou ligas especiais (Fe-Si, Fe-Cr-Si, Pb-Ag-Sb etc.). A alimentação elétrica deve ter uma resistência regulável e instrumentos de medição da voltagem e da intensidade.

Quando nas proximidades da tubulação enterrada houver uma via férrea eletrificada, a ação galvânica torna-se muito intensa, devido ao desvio que sofre a corrente de retorno pelos trilhos, exigindo sistemas de proteção mais aperfeiçoados.

Qualquer que seja o sistema de proteção catódica, convém que sejam colocados pontos de medição da diferença de potencial tubulação/solo, para que seja possível estabelecer e manter a diferença de potencial correta necessária. A intensidade que deve ter a corrente depende, entre outros fatores, do isolamento elétrico da tubulação e da resistividade do solo, sendo muito difícil de se prever com segurança.

A proteção catódica, quando bem-feita, assegura uma eficiente defesa contra a corrosão por tempo indefinido, servindo, inclusive, para controlar possíveis falhas em revestimentos protetores, ou perda de eficiência pelo envelhecimento.

A norma ANSI/ASME B. 31.1 considera como obrigatória a proteção catódica em todas as tubulações enterradas de materiais sujeitos à corrosão, exceto quando for demonstrado por investigações, por testes, ou por experiência anterior que essa proteção não é necessária.

No caso de tubulações enterradas — ou submersas —, importantes e/ou de grande extensão, onde justamente a proteção catódica é principalmente indicada, o projeto e detalhamento do sistema de proteção catódica é um problema sério de engenharia. Existe muita bibliografia sobre esse assunto, recomendando-se, por exemplo, o livro "Proteção Catódica — Técnica de Combate à Corrosão"; de Aldo Cordeiro Dutra e Laerce de Paula Nunes.

17

Normas, Códigos e Especificações

17.1 Principais Normas e Códigos sobre Tubulações

Existem muitos códigos e normas, de diversos países, regulando o projeto, fabricação, montagem e utilização de tubulações industriais para as mais diversas finalidades, detalhando materiais, condições de trabalho, procedimentos de cálculo etc., bem como padronizando dimensões de tubos, válvulas e conexões de tubulação. Em diversos capítulos deste livro já foram citadas e referidas várias dessas normas, e no Item 4.16 consta uma relação de normas específicas sobre válvulas industriais.

As principais normas e códigos de uso corrente, entre nós, sobre tubulações industriais são os seguintes:

— "American Standard Code for Pressure Piping" — ASME.B.31 — Código geral sobre tubulações industriais, anteriormente denominado ASA.B.31 e USAS.B.31, a que já nos referimos muitas vezes em vários capítulos, e que veremos a seguir com mais detalhes.

— Especificações de material da ASTM (American Society for Testing and Materials), abrangendo materiais para tubos, válvulas, conexões, parafusos, juntas, materiais de isolamento, tintas, elétrodos etc. Nos Caps. 2, 3, 4, 5 e 16, já nos referimos às mais usuais dessas especificações.

— Normas do ANSI (American National Standard Institute) especificando tipos, dimensões, classes de pressão nominal, materiais de construção, processos de fabricação etc. sobre tubos, válvulas e conexões. Nos mesmos capítulos citados anteriormente, já nos referimos também às mais usuais dessas normas.

O ANSI é a organização governamental americana encarregada de todos os assuntos de normalização técnica, que sucedeu à antiga ASA (American Standard Association), que era uma organização privada. A partir de 1978, o comitê norte-americano de normas técnicas começou a ser reorganizado no sentido de operar com os procedimentos da ASME (American Society of Mechanical Engineers), continuando porém com a certificação do ANSI. Assim, as antigas normas ANSI vêm sendo gradativamente modificadas para o prefixo ASME (veja Itens 17.2 e 17.3).

— Normas do API (American Petroleum Institute) referentes a tubulações, das quais as mais importantes são as abaixo relacionadas:

API 5 B	—	Roscas para tubos.
API 5L	—	Tubos de aço-carbono com ou sem costura de qualidade média.
API 5LA	—	Tubos de alumínio de parede "Sch.5".
API 5LS	—	Tubos de aço com solda helicoidal.
API 5LX	—	Tubos de aço-carbono de alta resistência.
API 6A	—	Roscas para flanges, válvulas e conexões.
API 6B	—	Flanges para junta de anel (para poços e campos de petróleo).
API 6C	—	Válvulas de gaveta e de macho, de aço, flangeadas, para poços e campos de petróleo.
API 594	—	Válvulas de retenção tipo "wafer", de ferro fundido e de aço fundido.
API 598	—	Inspeção e testes de válvulas.
API 599	—	Válvulas de macho, de aço, para refinarias.
API 600	—	Válvulas de gaveta, de aço, para refinarias.
API 601	—	Juntas metálicas para flanges.

API 602 — Válvulas de gaveta, de aço, de pequeno diâmetro, para refinarias.
API 603 — Válvulas de gaveta leves, resistentes à corrosão, classe 150#, para refinarias.
API 604 — Válvulas de gaveta e de macho, de ferro nodular, para refinarias.
API 609 — Válvulas de borboleta de ferro fundido e de aço fundido.

As seguintes normas do API, sobre bombas, turbinas e compressores, embora não se refiram a tubulações, estão estreitamente relacionadas a muitos projetos de tubulação onde existirem essas máquinas:

API 610 — Bombas centrífugas para serviço geral em refinarias.
API 611 — Turbinas a vapor para serviço geral em refinarias.
API 612 — Turbinas a vapor para serviços especiais.
API 617 — Compressores centrífugos para serviço geral em refinarias.
API 618 — Compressores alternativos para serviço geral em refinarias.

— Normas, especificações, métodos de ensaio e padronizações da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) referentes a tubulações. Nos Caps. 2, 3, 4, 5 e 16 já nos referimos às mais importantes dessas normas.
— Normas internacionais da ISO (International Standard Organization), referentes a tubulações, das quais as mais importantes são as seguintes:

ISO/R7 — Roscas para tubos e conexões de ⅛" a 6" de diâmetro nominal.
ISO/R13 — Tubos de ferro fundido.
ISO/R49 — Acessórios de ferro maleável com rosca ISO/R7.
ISO/R51 — Tubos de aço para o transporte de combustíveis líquidos.
ISO/R64 — Tubos de aço designados pelo diâmetro externo (tubes).
ISO/R65 — Tubos de aço, com ou sem costura, próprios para rosca ISO/R7.

— Normas da MSS (Manufacturers Standard Society) especificando tipos, dimensões e materiais de tubos, válvulas e conexões. Essas normas abrangem principalmente itens não cobertos pelas normas do ANSI, devendo ser citadas em particular as seguintes:

MSS-SP 6 — Acabamento de faces de flanges.
MSS-SP 43 — Conexões de aço inoxidável para solda de topo.
MSS-SP 58 e 69 — Materiais, projeto e seleção de suportes de tubulação.
MSS-SP 67 — Válvulas de borboleta.
MSS-SP 72 — Válvulas de esfera de uso geral.

— Normas alemãs DIN sobre tubos, válvulas e conexões incluindo materiais, processos de fabricação, tipos, dimensões, pressões admissíveis, empregos etc.
— Normas da AWWA (American Water-Works Association) abrangendo prescrições sobre materiais, tipos e dimensões de tubos, válvulas e conexões, bem como cálculo e recomendações sobre projeto, instalação e testes, todos referentes a tubulações de adução e distribuição de água.

No Item 17.4 relacionamos as principais normas, especificações, métodos de ensaio e padronizações da ABNT, e também as principais normas e especificações da ASTM e do ANSI, todas referentes a tubulações industriais(*). No Item 17.5 estão relacionadas as principais normas técnicas da PETROBRÁS referentes a tubulações industriais.

17.2 "AMERICAN NATIONAL STANDARD CODE FOR PRESSURE PIPING" — ASME.B.31

Esse código é uma norma geral abrangendo várias classes de tubulações pressurizadas, dentro e fora de instalações industriais. Inclui prescrições e dados sobre projeto, cálculo de espessuras e de flexibilidade, cálculo de componentes especiais, seleção e limitações de materiais, de meios de ligação e de conexões, tensões admissíveis, fabricação, montagem, testes e inspeção de tubulações. Embora não seja um estatuto legal, isto é, de uso obrigatório por lei, esse código é empregado e exigido como requisito mínimo de segurança pela maioria dos projetistas e usuários de tubulações industriais.

A primeira edição do código foi publicada em 1935, com a denominação de ASA.B.31, e desde então várias revisões e novas edições têm sido feitas. A edição atual, de 2000, está dividida nas seguintes seções, que são todas publicadas separadamente:

ASME B.31.1 — "Power Piping" — Tubulações em instalações de geração de vapor.
ASME B.31.2 — "Fuel Gas Piping" — Tubulações para gases combustíveis. Essa norma está em extinção, sendo mantida disponível apenas como documento histórico.
ASME B.31.3 — "Process Piping" — Tubulações de processo, em refinarias e ou-

(*) Para um resumo dos dados dimensionais mais importantes das normas ABNT, ANSI e API sobre tubos, válvulas, acessórios de tubulações etc., veja o livro "Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações", já aqui citado.

tras instalações petrolíferas, e em indústrias químicas e petroquímicas em geral. Essa seção, até a edição de 1973, denominava-se "Petroleum Refinery Piping", e não incluía tubulações para indústrias químicas.

ASME B.31.4 — "Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbon and Others Liquids". — Oleodutos e outras tubulações para o transporte de produtos líquidos em geral.

ASME B.31.5 — "Refrigeration Piping" — Tubulações de refrigeração.

ASME B.31.8 — "Gas Transmition and Distribution Piping Systems" — Tubulações para transporte e distribuição de gases.

ASME B.31.9 — "Building Service Piping" — Tubulações em prédios industriais, comerciais e residenciais que não se enquadrem em outras seções da B.31.

ASME B.31.11 — "Slurry Piping Systems" — Tubulações para líquidos com sólidos em suspensão, borras e outras misturas semi-sólidas.

17.3 "PROCESS PIPING" — ASME B.31.3

Essa norma, originalmente parte integrante do "American National Standard Code for Pressure Piping", tem sido publicada em separado a partir da edição de 1959, sendo reeditada a cada três anos, e revisada duas vezes por ano. A partir da edição de 1980, essa norma foi encampada pela ASME (American Society of Mechanical Engineers), passando a ter o prefixo ASME. A partir da edição de 1996, passou a se denominar "Process Piping" (anteriormente denominada "Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping"). A norma abrange prescrições sobre projeto, fabricação, montagem, testes e inspeção sobre tubulações para quaisquer fluidos, situadas dentro dos limites das refinarias, terminais e das instalações de processamento, armazenagem e distribuição de produtos de petróleo e de indústrias químicas e petroquímicas em geral. Estão excluídas as tubulações dentro dos limites das instalações de geração de vapor, regidas pelo "Power Boilers Code" da ASME, tubulações para pressões muito baixas (abaixo de 15 psig), e as tubulações internas de fornos, torres, trocadores de calor e outros equipamentos.

17.4 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES DA ABNT, DO ANSI E DA ASTM

1. Normas, Especificações e Métodos de Ensaio da ABNT sobre Tubulações e Materiais para Tubulações:

NB-54 — Cores para tubulações industriais

NB-77, EB-109, MB-140 a 144, MB-241 a 253 — Tubulações de pressão de cimento-amianto.

P-NB-35 — Cores para tubulações em usinas de açúcar de destilarias de álcool.

P-NB-37 — Coletores de esgotos sanitários.

P-NB-115, P-EB-183, P-MB-354 a 357, P-MB-518 e 519, P-MB-533 a 535 e PB-277. — Tubos e tubulações de PVC rígido.

P-NB-121, P-NB-125, P-EB-195 — Tubulações de polietileno.

P-NB-126, P-EB-137, P-MB-310 a 313 — Tubulações de ferro fundido de ponta e bolsa.

P-NB-137, EB-212, EB-216, EB-313, EB-827 — Juntas de papelão hidráulico.

P-NB-141, P-EB-221, P-EB-231 — Isolantes térmicos pré-moldados.

P-NB-150, P-PB-64 — Tubos estirados de cobre e ligas.

P-NB-155, EB-234 — Juntas semimetálicas espiraladas para flanges.

P-NB-188 — Seleção e dimensionamento de juntas não-metálicas para flanges.

P-NB-230 — Inspeção de válvulas de aço fundido e aço forjado.

EB-5, MB-12 a 14, MB-210 — Tubos cerâmicos para esgotos.

EB-6 — Tubos de concreto simples.

EB-43, MB-65, 66 — Tubos de ferro fundido centrifugado.

EB-69 — Tubos de cimento-amianto para esgotos.

EB-103, MB-113, MB-227, 228 — Tubos de concreto armado.

EB-141 (Partes I a IV) — Válvulas de aço fundido e de aço forjado, especiais para as indústrias do petróleo e petroquímicas. Já detalhada no Item 4.16.

P-EB-182, P-MB-314, 315 — Tubos de aço galvanizado.

P-EB-193 — Tubos de aço sem costura de precisão.

P-EB-197 — Tubos flexíveis hidráulicos.

P-EB-204 — Requisitos gerais para tubos de aço-carbono e de aços-liga.

P-EB-209 — Tubos de aço cobreado soldados.

P-EB-219 — Tubos de cobre sem costura para usos gerais.

P-EB-248 — Chapas de aço para a fabricação de tubos de acordo com a P-EB-249.

P-EB-249 — Tubos de aço soldados, para oleodutos e gasodutos (diâmetros de 12″ ou maiores).

EB-307 — Juntas metálicas de dupla camisa corrugada para flanges de tubos.

EB-311 — Anéis metálicos maciços para flanges tipo RTJ.

P-EB-331 — Tubos de aço-carbono com rosca para instalações comuns (ASTM-A-120).
P-EB-349 — Tubos de aço de precisão, com costura.
P-EB-363 — Tubos de aço com ou sem costura, para condução, para baixas temperaturas.
P-EB-379 — Luvas de aço-carbono com rosca ANSI.
P-EB-383 — Tubos de aços ferríticos, sem costura, para condução, para altas temperaturas.
P-EB-390 — Tubos de aço-carbono e aços-liga para baixas temperaturas.
P-EB-533 — Requisitos gerais de tubos para condução.
P-EB-600 — Tubos de poliéster armado, de ponta e bolsa.
MB-262 — Qualificação de processos de soldagem, soldadores e operadores.
P-MB-363 a 366 — Ensaios em tubos de aço.
PB-15 — Conexões para tubos de ferro fundido centrifugado.
PB-16 — Flanges de ferro maleável.
PB-37 — Válvulas de ferro fundido de gaveta maciça.
P-PB-41 a 44 — Parafusos, porcas e arruelas de aço.
P-PB-77 — Tubos e conexões de ferro fundido para esgoto.
P-PB-110 — Conexões de ferro maleável classe 10.
P-PB-156 — Conexões de ferro maleável classe 20.
P-PB-157 — Conexões de aço para solda de topo.
P-PB-158 — Conexões de aço forjado de encaixe para solda e com rosca.
P-PB-255 — Dimensões de tubos de aço para condução.

2. Principais Normas e Especificações do ANSI sobre Tubulações e Materiais para Tubulações:

A.21 — Tubos de ferro fundido.
A.21.1 — Cálculo de resistência e espessura de parede para tubos de ferro fundido de acordo com a especificação C-101 da AWWA.
A.21.2 — Tubos de ferro fundido não-centrifugado para água.
A.21.6 — Tubos de ferró fundido centrifugado para água.
B.2.1 — Roscas para tubos.
B.16.1 — Flanges e acessórios flangeados de ferro fundido.
B.16.3 — Conexões de ferro maleável classes 150# e 300#.
B.16.4 — Conexões de ferro fundido rosqueadas classes 125# e 250#.
B.16.5 — Flanges e conexões flangeadas de aço.
B.16.9 — Conexões de aço para solda de topo.
B.16.10 — Válvulas de aço e de ferro fundido (dimensões).
B.16.11 — Conexões de aço forjado para solda de encaixe e rosqueados.
B.16.15 — Conexões rosqueadas de latão e de bronze classe 125#.
B.16.16 — Flanges e acessórios de ferro fundido para refrigeração classe 300#.
B.16.17 — Conexões rosqueadas de latão e de bronze classe 300#.
B.16.18 — Conexões de bronze fundido para solda.
B.16.20 — Flanges de aço com face para juntas de anel, e juntas de anel metálico.
B.16.21 — Juntas não-metálicas para flanges.
B.16.24 — Flanges e conexões flangeadas de latão e de bronze.
B.16.25 — Extremidades para solda de topo.
B.16.34 — Pressões admissíveis e espessuras mínimas de válvulas de aço.
B.16.70 — Conexões com ligações de compressão para refrigeração.
B.36.10 — Tubos de aço e de ferro forjado.
B.36.19 — Tubos de aços inoxidáveis.

3. Principais Especificações da ASTM sobre Materiais para Tubulações:

A.47 — Peças fundidas de ferro maleável.
A.48 — Peças de ferro fundido cinzento.
A.53 — Tubos de aço-carbono com ou sem costura de qualidade corrente.
A.72 — Tubos de ferro forjado com costura.
A.74 — Tubos e conexões de ferro fundido.
A.105 — Flanges, conexões e válvulas de aço forjado para altas temperaturas.
A.106 — Tubos de aço-carbono sem costura para altas temperaturas.
A.120 — Tubos de aço-carbono com ou sem costura de qualidade estrutural.
A.126 — Flanges, conexões e válvulas de ferro fundido cinzento.
A.134 — Tubos de aço com costura de solda por arco protegido (acima de 16″ ø).
A.135 — Tubos de aço com costura de solda por resistência elétrica (até 30″ ø).
A.139 — Tubos de aço com costura de solda por arco protegido (de 4″ø a 16″ø).
A.142 — Tubos de ferro fundido para esgoto.
A.182 — Flanges, conexões e válvulas de aços-liga forjados, para altas temperaturas.
A.193 — Parafusos e estojos de aços-liga.
A.194 — Parafusos e porcas de aço-carbono e aços-liga.
A.211 — Tubos de aço com solda helicoidal.

A.216 — Peças de aço-carbono fundido para solda e para altas temperaturas.
A.217 — Peças fundidas de aços-liga para altas temperaturas.
A.234 — Conexões de aço-carbono e de aços-liga para solda de topo.
A.312 — Tubos de aços inoxidáveis com ou sem costura.
A.333 — Tubos de aço, com ou sem costura, para baixas temperaturas.
A.335 — Tubos de aços-liga ferríticos, sem costura, para altas temperaturas.
A.350 — Flanges, conexões e válvulas de aço-forjado para baixas temperaturas.
A.351 — Peças fundidas de aços-liga para altas temperaturas.
A.352 — Peças fundidas de aços-carbono e aços-liga para baixas temperaturas.
A.358 — Tubos de aços inoxidáveis com solda de resistência elétrica.
A.370 — Ensaios mecânicos em produtos tubulares.
A.376 — Tubos de aços inoxidáveis sem costura para altas temperaturas.
A.377 — Tubos de ferro fundido para pressão.
A.381 — Tubos de aço para transmissões hidráulicas de alta pressão.
A.403 — Peças forjadas de aços inoxidáveis.
A.409 — Tubos com costura, de grande diâmetro, de aço inoxidável.
A.420 — Peças forjadas de aços-carbono e aços-liga para baixas temperaturas.
A.522 — Válvulas e conexões de aço-níquel forjado para baixas temperaturas.
A.524 — Tubos de aços-carbono sem costura para indústrias de processo.
A.530 — Requisitos gerais para tubos especiais de aços-carbono e aços-liga.
A.587 — Tubos de aço-carbono (baixo C), com costura, para indústrias químicas.
A.671 — Tubos de aço-carbono, e aços-liga Ni, com costura, de grande diâmetro, para temperaturas ambiente e baixas.
A.672 — Tubos de aço-carbono e aço-liga ½Mo, com costura, de grande diâmetro, para temperaturas moderadas.
A.691 — Tubos de aço-carbono e aços-liga, com costura, para altas temperaturas.
A.703 — Requisitos gerais para peças fundidas.
A.707 — Flanges e conexões de aço-carbono e aço-níquel para baixas temperaturas.
B.82 — Tubos de cobre.
B.111 — Tubos de ligas de cobre.
B.161 — Tubos de ligas de Ni.
B.210 — Tubos de ligas de Al.
C.320 — Calhas e segmentos isolantes de Mg 85%.
C.345 — Calhas e segmentos isolantes de hidrossilicato de cálcio.

17.5 Principais Normas Técnicas da Petrobrás sobre Tubulações

N-42 — Projeto de sistemas de aquecimento externo de tubulações, equipamentos e instrumentos com vapor.
N-46 — Vãos máximos entre suportes de tubulação.
N-57 — Projeto mecânico de tubulações industriais.
N-58 — Símbolos gráficos para fluxogramas de processo e de engenharia.
N-59 — Símbolos gráficos para desenhos de tubulações industriais.
N-76 — Materiais de tubulações.
N-105 — Espaçamentos entre tubos paralelos.
N-108 — Suspiros e drenos para tubulações.
N-115 — Fabricação, montagem e condicionamento de tubulações industriais.
N-116 — Sistemas de purga de vapor em tubulações.
N-118 — Filtro temporário para tubulações.
N-550 — Projeto de isolamento térmico a altas temperaturas.
N-894 — Projeto de isolamento térmico a baixas temperaturas.
N-1522 — Identificação de tubulações industriais.
N-1542 — Tubulações — Lista de linhas.
N-1647 — Materiais para tubulação — Folha de padronização.
N-1673 — Critérios de cálculo mecânico de tubulações.
N-1692 — Apresentação de projetos de detalhamento de tubulações.
N-1693 — Critérios para a padronização de materiais de tubulação.
N-1745 — Folha para isométrico de tubulações.
N-1746 — Índice de isométricos de tubulação.
N-1748 — Lista de material de tubulação.
N-1758 — Suportes, apoios e restrições para tubulação.
N-1950 — Resumo de material de tubulação.
N-2043 — Revestimento interno de tubulações de aço com argamassa de cimento e areia.
N-2232 — Válvulas de gaveta de aço fundido e de aço forjado.
N-2247 — Válvulas de esfera para uso geral e "fire-safe".
N-2296 — Válvulas de retenção tipo portinhola, flangeadas, de aço fundido.
N-2444 — Materiais de tubulação para dutos, terminais, bases e estações.
N-2555 — Inspeção em serviços de tubulação.

BIBLIOGRAFIA

1 — Livros e Outras Publicações(*)

Assuntos Referentes aos Capítulos

ABRAMOVITZ, J. L. How to select insulation thickness forhot piping. Revista *Chemical Engineering,* jul./1975. 16

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI).*American national standard code for pressure piping.* ANSI.B.31. 2, 5, 11, 17

AMERICAN WATER-WORKS ASSOC. Standard "H-1": *Computation of strenght and thickness of cast iron pipes.* 10

————. Standard "M-11": *Steel pipes.* 10

APPLEGATE, L. M. *Cathodic protection.* McGraw-Hill, 1960. 16

CLARKE, N. W. B. *Buried pipelines.* Elsevier Publ., 1970. 10

CROOKER, S. & KING, Reno C. *Piping handbook,* 5 ed., McGraw-Hill, 1967. Todos

DUTRA, Aldo Cordeiro, e NUNES, Laerce de Paula, *Proteção catódica — técnica de combate à corrosão* — JR Editora Técnica Ltda 1987 16

EVANS, Frank L. Valves for hydrocarbon process industry. Revista *Hydrocarbon Processing,* jun./1974. 5, 8

GAGE, A. *Le calcul des tuyauteries à haute temperature.* Dunod, 1957. 11

GASCOYNE, J. *Analysis of pipe structures for flexibility.* John Wiley, 1959. 2, 6, 11

GRINNELL C.° INC. *Piping design & Engineering.* 2, 3, 5, 11

HOLMES, E. *Handbook of industrial pipework Engineering.* McGraw-Hill, 1973 Todos

HOUSE, F. F. Pipe tracing and insulation. Revista *Chemical Engineering,* jun./1968. 16

KENT, G. R. Selecting gasket for flanged joints. Revista *Chemical Engineering,* mar./1978. 3

KERN, Robert. Piping design. Revista *Chemical Engineering,* mai./nov./1975. 10, 12, 14, 17

————. Plant layout. Revista *Chemical Engineering,* mai./set./1978. 9, 10, 12

KOENING, A. L. Choosing economic insulation thickness. Revista *Chemical Engineering,* set./1980. 16

(*) Veja também a relação de normas técnicas sobre tubulações no Cap. 17.

	Assuntos Referentes aos Capítulos
LITTLETON, C. T. *Industrial piping.* 2 ed., McGraw-Hill, 1962.	2, 5, 8, 11, 13, 16
MASEK, John A. Metallic piping. Revista *Chemical Engineering,* jun./1968.	2, 3, 5
MONROE, E. S. Select the right steam-trap. Revista *Chemical Engineering,* jan./1976.	7
NUNES, Laerce de Paula, e LOBO, Alfredo Carlos O. — *Pintura industrial na proteção anticorrosiva* — LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda 1990.	16
NUNES, Ney Vieira — *Pintura industrial aplicada.* Maity Comunicações e Editora Ltda — 1990.	16
O'KEEFE, W. Check valves. Revista *Power,* ago./1976.	4
OLIVE, T. R. Process piping. Revista *Chemical Engineering,* dez./1953.	2, 5, 7
———— Process piping. Revista *Hydrocarbon processing,* out./1966.	2, 9, 10, 13, 14
PAGE, J. S. *Estimator's piping man-hour manual* Gulf Publ., 1958.	15
PIKULIK, Arkadie. Manually operated valves. Revista *Chemical Engineering*, abr./1978.	4
———— Selecting and specifying valves for new plants. Revista *Chemical Engineering,* set./1976.	5, 8
RASE, H. *Piping design for process plant.* John Wiley, 1963.	2, 5, 7, 15
———— & BARROW, M. *Project Engineering of process plant.* John Wiley, 1961.	2, 5, 7, 9, 11, 14, 16, 17
SILVA, Remi B. *Tubulações,* 2 v. Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, 1975	2, 5, 6, 15, 16
SILVA TELLES, P. C. *Materiais para equipamentos de processo,* 5 ed., Interciência, 1994.	2, 8
————. & PAULA BARROS, Darcy G. de. *Tabelas e gráficos para projetos de tubulações.* 6 ed., Interciência, 1997.	2, 5, 7, 10, 13, 16
SOLAR. *Expansion joint technical manual.*	6, 11
SPIELVOGEL, S. W. *Piping stress calculations simplified.* McGraw-Hill.	2
THE ENGINEERING EQUIPMENT USER'S ASSOC. *Thermal insulation of pipes and vessels. Constable* & Co, 1963.	16
THE M. W. KELLOGG C.°. *Design of piping systems.* 2 ed., John Wiley, 1961.	2, 3, 5, 6, 11, 15
TUBE-TURNS INC. *Piping engineering.* 1947-1961.	2, 3, 5, 10, 11, 16
VALLE, Cyro E. do. *Implantação de Indústrias.* Livros Técnicos e Científicos, 1975.	9
WEAVER, R. *Process piping drafting.* Gulf Publ. C.°., 1970. ————. Process piping design. 2 v. Gulf. Publ., 1973.	2, 5, 9, 11, 13, 17
YARNALL WARING C.°. *The inside story of yarway of yarway steam trapping.*	2, 5, 9, 10, 12, 13, 15

2 — Catálogos Comerciais

É impossível fazer-se uma relação dos muitos e excelentes catálogos existentes de fabricantes de tubos, válvulas, acessórios etc. Na lista a seguir, selecionamos alguns fabricantes cujos catálogos são uma bibliografia representativa de cada classe de materiais. A citação dos nomes de determinadas firmas não significa, entretanto, nenhuma preferência quanto a esse ou aquele fabricante.

Vallourec & Mannesmann do Brasil S.A. — Tubos de aço sem costura
Confab Industrial S.A. — Tubos de aço com costura
Persico Pizzamiglio S. A. — Indústria e Comércio — Tubos de aço com solda de resistência elétrica
Sandvik do Brasil S.A. — Tubos soldados de aços inoxidáveis
Fornasa S.A. Indústria e Comércio — Tubos de aço com solda de resistência elétrica — (*Tubos "Vol Red"*)
Armco do Brasil S.A. Indústria e Comércio — Tubos de aço com solda por arco protegido
Cia. Ferro Brasileiro — Tubos, válvulas e conexões de ferro fundido
Anaconda American Brass C.º — Tubos, válvulas e conexões de metais não-ferrosos
Cia. Hansen Industrial — Tubos e conexões de PVC — (*Tubos "Tigre"*)
Conforja S.A. Conexões de Aço — Flanges e conexões de aço forjado
Ladish C.º — Flanges e conexões de aço forjado
Bonney Forge C.º — Flanges, colares e selas de aço forjado
Crane Company — Válvulas, flanges, purgadores de vapor, conexões em geral
Grinnell Company Inc. — Válvulas, flanges, conexões em geral, suportes, suportes de molas
Henry Vogt Machine C.º — Válvulas e conexões de aço forjado
IBRAVE — Indústria Brasileira de Válvulas e Equipamentos Ltda. — Válvulas em geral
Cia. Metalúrgica Barbará (Divisão Cornersol) — Válvulas em geral
Rockwell Manufacturing C.º — Válvulas-macho
Jamesbury Serk Ltd. — Válvulas-macho
Vanasa — Válvulas Nacionais S.A. — Válvulas de esfera
Manning Mazwell & Moore Inc. — Válvulas de segurança e de alívio
FMC Corp. (Weco Division) — Válvulas de borboleta
Mecânica CBV S.A. — Válvulas de gaveta e de borboleta, juntas giratórias
The Foxboro C.º — Válvulas de controle
Hiter Indústria e Comércio de Controles Termo-hidráulicos Ltda. — Válvulas de controle
Civa — Comércio e Indústria de Válvulas S.A. — Válvulas de diafragma
Limitorque Corp. — Atuadores para válvulas
Fundição Tupy S.A. — Conexões de ferro maleável
Parker Hannifin Corp — Conexões de compressão
Autoclave Engineering Inc. — Conexões de alta pressão
Zallea Brothers Inc. — Juntas de expansão
Gilardini do Brasil Indústria e Comércio S.A. — Juntas de expansão
Yuba Consolidated Industries Inc. — Juntas de expansão
Armstrong Machine Works — Purgadores de vapor
Hero Hidroelétrica Indústria e Comércio S.A. — Filtros e purgadores de vapor
Sarco S.A. Indústria e Comércio — Filtros e purgadores de vapor
Gestra Latino-Americana S.A. — Purgadores de vapor
Bergen Pastersen Pipe Support Corp. — Suportes, suportes de molas
John Mansville do Brasil S.A. Isolamentos Térmicos — Juntas para flanges, isolamento térmico geral
Asberit S.A. — Juntas para flanges
Isopad Ltd. — Aquecimento elétrico de tubulações
Parks-Cramer C.º — Aquecimento por camisa de vapor
Fabro Graxetas Metálicas Ltda. — Juntas metálicas e semimetálicas para flanges
Primus Processamento de Tubos S.A. "Protubo" — Encurvamento de tubos por alta freqüência

ÍNDICE

A

ABNT (Assoc. Bras. de Normas Técnicas)
  normas sobre tubulações, 243
Acessórios de tubulação
  (V. Conexões de tubulações)
Ácidos (tubulações para), 100
Aços-carbono (tubos de), 9
  efeito da corrosão, 9
  efeitos de altas e baixas temperaturas, 9
  empregos, 11
  especificações, 10
  fabricação no Brasil, 15
  limites de temperatura, 9, 11
  tubos de aço-carbono, 9
Aços inoxidáveis (tubos de), 12
  limites de temperatura, 13
  sensitização, 13
Aços-liga (tubos de)
  efeitos da temperatura e da corrosão, 12
  empregos, 12-3
  especificações, 12-3
  limites de temperatura, 12
  tubos de aços-liga, 12
Água doce (tubulações para), 94
Águas agressivas (tubulações para), 95
Agulha (válvulas de), 48
Álcalis (tubulações para), 100-1
Alívio de tensões de soldas, 214
Alumínio (tubos de), 16
Ancoragens de tubulações, 154
  casos de emprego, 157-8
ANSI (American Nacional Standard
  Institute) (anteriormente
  denominado "ASA"), normas sobre
  tubulações, 244
ANSI. B.31 (American Standard Code for Pressure
  Piping) (anteriormente denominado ASA. B.31), 242
  categorias "D" e "M" de tubulações, 10
  detalhamento da norma, 242
  exigências de fabricação e montagem, 205, 206,
    212, 213-4
  exigências de inspeção, 210-11, 212-3, 220, 221, 222
  exigências de soldagem, 208, 210
  exigências sobre curvas em gomos, 67
  limitações no emprego de materiais e de meios de
    ligação, 11, 16, 19, 23, 24, 25, 26, 32, 33
ANSI B.36.10 e B.36.19
  normalização de diâmetros e espessuras de tubos de
    aço, 13, 14
API (American Petroleum Institute)
  normas sobre tubulações, 10, 241-2
Aquecimento de tubulação
  alimentação de vapor, 226
  disposição dos tubos, 226
  elétrico, 229
  finalidade do, 224
  massas transmissoras de calor, 229
  por tubos externos paralelos, 225, 226
  quantidade, diâmetro e
    comprimento dos tubos, 229
  sistemas de, 225
Ar comprimido
  tubulações para, 98
Arranjo de instalações industriais, 107, 108, 112
  avaliação de áreas, 108
  cotas e elevações dos
    equipamentos, 115
  diagrama de bloco, 108
  direções ortogonais de projeto, 108
  disposição das construções, 108
  disposição dos equipamentos, 112
  disposição geral das áreas, 108, 110
  em áreas de processo, 112
  divisão da área, 110
  facilidades para montagem,
    operação e manutenção, 116
  faixas de passagem das tubulações, 110, 116
  folgas e distâncias recomendadas, 112, 116
  fixação dos níveis de projeto, 112, 116
  influência da drenagem, 110-2, 117-8
  influência das tubulações, 108, 113, 115
  listagem de atividades, 108
  listagem de equipamentos, 112
  plantas de arranjo, 118
  previsão para ampliações, 108, 113
  rede de coordenadas, 118
  subdivisão de áreas, 127
  traçado de ruas, 140
  unidades a céu aberto e dentro de prédios, 118
Arranjo de tubulações (V. também Desenhos de
  tubulações e Projeto de tubulações), 120
  alívio de pressão em linhas bloqueadas, 138
  arranjo dos tubos nos grupos paralelos, 123
  considerações básicas, 120
  cotas de elevação, 121, 132
  curvas em tubos dobrados, 136
  derivações para gases, 137
  detalhes de tubulação, 134
  direções ortogonais de projeto, 108, 121
  disposição de tubulações não-subterrâneas, 120
  em áreas de processamento, 125
  espaçamentos entre tubos paralelos, 122
  facilidades para montagem, operação e manutenção, 130
  fixação de cotas de elevação, 132
  grupos paralelos de mesma elevação, 121
  influência da flexibilidade (V. Flexibilidade das
    tubulações, influência do traçado)
  instalação de manômetros e termômetros, 138
  ligações aos equipamentos, 130
  medidores de vazão, 138
  pontes de tubulação, 125, 127
  posição das reduções, 136
  posição das válvulas, 137
  travessia de paredes e de pisos, 139
  tubos de pequeno diâmetro, 138
  tubos em direções diferentes, 121
  tubovias, 129
  tubulações com fluxo por gravidade, 168
  tubulações de distribuição, 3
  tubulações de grande diâmetro, 137
  tubulações de pequeno diâmetro, 138
  tubulações em áreas de armazenagem, 166
  tubulações em canaletas, 140
  tubulações externas, 125, 128
  tubulações ligadas a bombas, 162-3
  tubulações ligadas a compressores, 168
  tubulações ligadas a reservatórios, 164
  tubulações ligadas a turbinas, 168
  tubulações subterrâneas, 139
ASA (American Standards Association) (V. ANSI:
  American National Standard Institute)
ASTM (American Society for Testing and Materials),
  especificações sobre tubulações, 10, 12, 13, 15, 16,
    28-9, 244
AWWA (American Water Works Assoc.), normas sobre
  tubos enterrados, 242

B

Bancadas de tubulações (V. Pontes de tubulações), 125, 127
Barro vidrado (tubos de), 18
Berços de tubulações, 148
Bloqueio (válvulas de), 55
Bocas-de-lobo (derivações soldadas), 69
Bombas
  tubulações para, 162
  tubulações para grupos de, 164
Borboletas (válvulas de), 52
Borrachas (tubos de), 18

C

CAD (Computer Aided Design), 198
Cálculo de espessura de isolamento térmico, 224

Cálculo de quantidade de condensado, 86
Cálculos em projetos de tubulações, 194
Chumbo (tubos de), 16
Cimento amianto (tubos de), 17
Classes de pressão
  conexões de tubulações, 63, 64, 65
  flanges de aço, 28
  válvulas, 53
Cobre (tubos de), 16
Colares, 68
Compressores
  tubulações para, 168
Computadores (uso no projeto de tubulações), 197
Concreto armado (tubos de), 17
Condensado
  cálculo da quantidade a eliminar, 86
  causas do aparecimento, 78
  razões para a remoção, 78
  tubulações para, 95, 96
Conexões de tubulações
  classificação, 61
  curvas em gomos, 66
  de compressão, 66
  de ponta e bolsa, 66
  de tubos de plástico reforçado, 65
  derivações soldadas, 66
  flangeadas, 64
  niples, 65
  para ligações patenteadas, 65-6
  para solda de encaixe, 62
  para solda de topo, 62
  peças "figura 8", 69
  raquetas, 69
  rosqueadas, 63
Controle (válvulas de), 51
COPANT (Comisión Pan-Americana
  de Normas Técnicas), 2
Cotovelos (V. Joelhos)
Curvas
  conexões para, 61-6
  curvas de expansão, 122
  curvas de 45° (emprego), 136
  curvas em gomos, 66
  exigências da ANSI.B., 20, 67
  tubos dobrados, 136, 205

D

Dados para a encomenda de
  flanges, 29-30
  juntas de expansão, 72
  supostas de mola, 152
  tubos, 15
  válvulas, 58
Derivações
  a 45°, 136
  conexões para, 61-6
  em tubos para gases, 137
  soldadas, 68
Desenhos de tubulações, 169
  de cargas sobre suportes, 188, 196
  de detalhes de suporte, 203
  de detalhes típicos, 188
  diversos, 188
  documentos de que se compõe um projeto, 195
  escalas, 193
  fluxogramas, 170, 173
  isométricos, 182
  lista de linhas, 190, 202
  norma de desenho, 192
  numeração dos, 192
  plantas de tubulação, 174, 180, 181
  plantas de tubulações de interligações, 179-80
  por computador, 197
  revisões dos desenhos, 192
  subterrâneas, 190
  tipos de, 169
  verificação dos, 192
Diafragma (válvulas de), 52
Diâmetros dos tubos
  comerciais dos tubos de aço, 13
  nominais dos tubos, 13
Dilatações térmicas (V. Flexibilidade)
Dilatadores (V. Curvas de expansão)
Discos de ruptura, 71
Distribuição
  tubulações de, 3
Drenagem (V. Esgotos)
Drenos e respiros, 134

E

Ensaios não-destrutivos de soldas, 210
Equipamentos ligados à tubulação
  cotas de elevação, 115, 132
  facilidades para operações e manutenção, 116, 130
  "layout" dos, 115
  montagem, 214-5
  proteção dos, 156, 158
  tubos de ligação aos, 130
Esfera (válvulas de), 45
Esgotos e drenagem
  caixas de coleta, 142
  caixas-de-vista, 141
  traçado de tubulações de esgoto, 139, 140
  tubulações para, 101
Espaçamento entre tubos paralelos, 122
Especificações (V. Normas)
  da ABNT, 243
  da ASTM, 244
  de aços-carbono para tubos, 9
  de material de tubulações, 241
Espessura de parede de tubos
  espessuras comerciais de tubos de aço, 14
  espessuras comerciais de tubos não-ferrosos, 17
  espessuras de tubos de aço, 13
  séries normalizadas, 15
  "schedule number", 14
Estações de redução de vapor, 87
Estações de serviço, 139
Estruturas de suportes de tubulações, 160
Extremidades de tubos de aço, 14
Extrusão de tubos, 6

F

Fabricação
  extrusão, 6
  fabricação por resistência elétrica, 7
  fundição, 6
  laminação, 5
  por solda (tubos com costura), 7
  pré-montagem de peças de
    tubulação, 204
  processo "Mannesmann", 5
  processo "Thermatool", 7
  processos de fabricação de tubos, 5
Faceamento dos flanges, 27, 29
Fecho rápido (válvulas de), 44
Ferro fundido, 63
  conexões de, 64
  tubos de, 15
Filtros, 89
  casos de emprego, 89
  permanentes, 90
  provisórios, 90
Flanges
  aperto de, 216
  cegos, 27
  conexões flangeadas, 64
  de aço
    classes de pressão, 28-9
    dados para encomendas, 29-30
    diâmetros, 29
    materiais, 28
    normalização dimensional, 28
  de encaixe, 26
  de pescoço, 25
  de outros materiais, 30-1
  emprego dos, 25
  face com ressalto, 27
  face para junta de anel, 27
  face planta, 27
  faceamentos, 27
  juntas para, 31
  ligações flangeadas, 25
  parafusos e estojos, 32
  posição dos, 206
  rosqueados, 26
  sobrepostos, 26
  soltos, 26
  tipo anel, 28
  tipos de, 25-6
Flexibilidade das tubulações, 121
  influência do traçado, 121
  influência dos pontos de fixação, 155
  limitação dos movimentos dos tubos, 156
Fluxogramas, 170, 202
  convenções, 173
  de detalhamento, 172
  de processos, 202
Fundações dos suportes, 161
Fundição de tubos, 6

G

Gases
  derivações em tubos para, 136
  tubulações para, 100
Gaveta (válvulas de), 43
Globo (válvulas de), 46
Guarnições (V. Juntas para flanges)
Guias de tubulações, 155
  casos de emprego, 158

H

Hidrocarbonetos
  tubulações para, 97-8
Hidrogênio
  tubulações para, 100

I

Identificação
  de equipamentos, 169
  de instrumentos, 170
  de tubulações, 169
Indústria de processo (definição), 1
Informática (aplicação ao projeto de tubulações), 197
Inspeção de soldas de tubulações, 210
Instrumento de medição de vazão (instalação), 138
ISA (Instrumentation Society of America), siglas
  convencionais de instrumentos, 170
ISO (International Standard Organization), normas sobre
  tubulações, 242
Isolamento térmico
  aplicação do isolamento externo, 234
  cálculos da espessura, 234
  classes de, 230
  de válvulas e acessórios, 235
  espessuras de, 231
  finalidades do, 230
  interno refratário, 231
  materiais isolantes, 231
  patins para tubos isolados, 147
  sistemas de colocação, 231
Isométricos de tubulação (desenhos), 182, 203
  convenções de isométricos, 187

J

Joelhos (V. Conexões de tubulações, Curvas)
Juntas de expansão, 72
  casos de empregos, 72
  dados para encomenda, 72
  de fole, 75-6
  de tecido, 77
  de telescópio, 74
  movimentos, 73
  posição das ancoragens e das guias, 156-8
  tipos de, 73, 74-5
Juntas giratórias, 71
Juntas para flanges, 31

L

Laminação de tubos, 5
"Layout" de instalações industriais (V. Arranjo de
  instalações industriais)
Ligações de tubulações, 131
  casos de emprego, 22
  classes de ligações em tubulações, 22
  flanges (V. este título)
  ligações de compressão, 34
  ligações de solda de encaixe, 24
  ligações de solda de topo, 24
  ligações flangeadas, 25
  ligações patenteadas, 35
  ligações rosqueadas, 22
  ligações soldadas, 23
  luvas, 22, 25
  meios de, 22
  niples, 65
  para tubos com revestimento
    interno, 35

para tubos de plástico reforçado, 34
ponta e bolsa, 33
sistema de, para tubos de aço, 35
soldas (V. este título)
uniões, 23, 24
Limpeza de tubulações, 217
Lista de linhas, 190, 202
Listas de materiais, 192, 202
Luvàs, 23, 25

M

Macho (válvulas de), 45
"Mannesmann" (processo de fabricação), 5
Manômetros e termômetros (instalação), 138
Manutenção de tubulações
facilidades para, 116, 130
pinturas (V. este título)
Materiais
de fabricação de tubos, 4
de tubulações, especificações de, 245
especificações para aço-carbono, 10
fatores de influência, 10, 92
para conexões forjadas, 62-3
para conexões fundidas, 64
para flanges de aço, 28
para isolamentos térmicos, 231
para juntas para flanges, 31
para revestimentos internos em tubos, 4-5
para válvulas, 53
plásticos (para tubos), 18, 19
casos de emprego, 18-9
efeito da corrosão, 18-9
plásticos reforçados, 19
principais plásticos, 19
recomendações de materiais para tubulações, 92
seleção de materiais para tubulações, 5, 92
vantagens e desvantagens, 18
Modelos reduzidos, 119, 193
Montagem de tubulações, 214-7
ajustagem dos suportes, 215, 218
canteiro de obras, 215
chanfro para solda, 24, 206
construção de tubulações subterrâneas, 219-20
derivações soldadas, 68, 207
encurvamento de tubos, 205
estimativa de serviço de, 222
fabricação com gabaritos, 208
facilidades para, 116, 130
fiscalização de, 217
ponteação provisória, 215
posição dos flanges, 206
precaução de segurança, 215
pré-montagem de peças, 204, 205, 207
preparação de material, 205
preparação para a montagem, 214-5
proteção e estocagem de material, 208
reparo em defeitos, 207
soldagem (V. Soldas)
tolerância de fabricação, 207
tubulações com revestimentos internos, 218
tubulações de pequeno diâmetro, 218
tubulações rosqueadas, 217-8
MSS (Manufacturers Standard Society), normas sobre tubulações, 27, 29, 242

N

Niples, 65
Níquel (tubos de), 17
Normas (V. Especificações)
ANSI. B., 20, 242, 243
da ABNT, 243
da ASTM, 244
da ISO, 242
da MSS, 242
da PETROBRÁS, 245
do ANSI, 244
do API, 10, 232, 241
sobre tubulações, 241
sobre válvulas, 59-60

O

Óleos
aquecimento de tubulações, 224
Operação de tubulações
facilidades para, 116, 130

P

Page (J)
"Estimator's Piping Man Hour Manual", 222
Papelão hidráulico, 31
Parafusos para flanges, 32
aperto dos, 33, 216
estojos, 32
Patins de tubulação, 147
PETROBRÁS (práticas da)
aquecimento de tubulações, 226
espessuras de isolamento, 233
inspeção de soldas, 211
juntas para flanges, 31
normas técnicas de tubulação, 245
vãos entre suportes, 124
Pintura de tubulações, 236
cores, 239
eletrostática, 238
execução, 238
finalidades da, 236
interna, 238
precauções de segurança, 238
preparação da superfície, 236
tintas, sistemas de aplicação, 237
"Pipe rack", 127
Plantas de arranjo, 118
Plantas de tubulação, 174, 180, 181, 202
convenções de desenho, 174, 179
de interligação, 179-80
desenho por computador, 197
rotina para o desenho de, 181
"Plot-plan" (V. Plantas de arranjo)
Ponta e bolsa (ligações de), 33, 65
Pontes de tubulações, 125, 127
Pórtico de suporte de tubulações, 146
Pressão
classes de pressão de flanges, 28-9
de abertura de válvula de segurança, 50, 138
de teste hidrostático, 220
Projeto de processo, 194
Projeto de tubulações, 194
arranjo de tubulações (V. Arranjo de tubulações), 120
cálculos de tubulações, 195
desenhos de tubulações, (V. Desenhos de tubulações)
direções ortogonais de, 108
documentos de que se compõe um, 195
faixas de passagem de tubulações, 112, 116
informações fornecidas aos outros projetos, 200
informações necessárias, 199, 201
informações recebidas de outros projetos, 199
interdependência com outros projetos, 199
projeto de processo e projeto mecânico, 195
redes de coordenadas, 118
seqüência de etapas no, 202
serviços com computador, 197
traçado de tubulações (V. Arranjo de tubulações)
Projetos de utilidades, 194
Proteção de tubulações
catódica, 240
tubulações enterradas e submersas, 238
Purgadores de água, 88
Purgadores de vapor, 78
casos de emprego, 79, 86
de bóia, 82
de expansão metálica, 83
de panela invertida, 82
definição, 78
detalhes de instalação, 81
dimensionamento, 84
pontos de localização, 79
quadro comparativo, 85
seleção e dimensionamento, 84
termodinâmico, 84
termostático de fole, 84
tipos principais, 81, 85

Q

Qualificação de procedimentos de soldagem, e de soldadores e operadores, 208

R

Radiografia de soldas, 211
Recomendações de materiais para tubulação, 104
Redução (V. Conexões de tubulações)
Registros (V. Válvulas)
Regulagem (válvulas de), 38, 56
Respiros e drenos, 134
Retenção (válvulas de), 48
Revestimentos internos para tubos, 20, 238
conexões com revestimentos, 62, 63, 65
finalidades do, 20
ligações de tubos com revestimento, 25
materiais, 4
montagem de tubos com revestimentos, 218
pinturas, 238
Roscas
conexões rosqueadas, 63
ligações rosqueadas, 22
montagem de tubos com, 218
posição das, 132

S

"Schedule Number", 14
Segurança (válvulas de), 50
Seleção de materiais para tubulação, 92
Separadores, 88
Séries (espessuras de tubos), 13, 14
Serviço severo e serviço de baixa responsabilidade (conceito), 57
Soldas
alívio de tensões, 212-3
anéis de soldagem, 24
chanfro para, 24, 206
conexões soldadas, 61, 62
de encaixe, 24, 62
de topo, 24, 61
derivações soldadas (bocas-de-lobo), 68, 207
exames não-destrutivos, 210
execução das, 208
exigências da ANSI.B., 20-1, 31, 208, 210
inspeção de, 210
inspeção radiográfica, 210
ligações soldadas, 23, 24
posição das, 132
qualificação de procedimentos, soldadores e operadores, 208
tratamento térmicos, 212-3
tubos soldados (com costura), 6
"Spring-hangers" (V. Suportes de molas)
"Steam-tracing" (V. Aquecimento de tubulação)
Suportes de tubulação
ajustagem de suportes de molas, 152, 218-9
ajustagem dos, 215, 218
ancoragens, 154, 157-8
apoiados e pendurados, 143-4
batentes, 154, 158
berços, 148
cargas sobre, 143
classificação dos, 143
contato entre tubos e, 146
contraventos, 154
de contrapesos, 154
de molas, 152
de rolos, 147-8
definição, 143
desenhos de cargas sobre suportes, 188, 196
desenhos de detalhes de suportes, 188, 195
elevados: arrumação das tubulações, 125
emprego de ancoragens, guias e batentes, 154
emprego dos suportes, 146-7
emprego dos suportes móveis, 149
estudo global do conjunto de suportes, 159
estruturas e fundações, 160-1
finalidade da limitação dos movimentos, 155
fixos, 144
guias, 154, 158
identificação dos, 159, 170
intermediários para tubos leves, 145
localização, 123, 125, 128-9
móveis, 149
para tubos com vibrações, 158
para tubos leves, 149
para tubos verticais, 149
patins para tubos isolados, 148
pendurais, 149
pontes de tubulação, 127
projeto e construção dos, 159
que limitam os movimentos, 154
casos de emprego, 155
finalidades, 154
semimóveis, 149

sistemas de construção de suportes, 160
tipo pórtico, 144
tubulações em áreas de processamento, 125
tubulações fora de área de processamento, 128
vãos entre suportes, 123-4

T

Tanques, tubulações para, 164, 165
Temperaturas
baixas, tubulações para, 99
elevadas, tubulações para, 98-9
Testes de tubulação
com ar comprimido, 220, 222
preparação e condução dos, 221
pressão de teste, 220-1
teste hidrostático, 220-1
Titânio e zircônio (tubos de), 17
Tolerância de montagem, 207
Tomadas para amostras, 139
Traçado de tubulações (V. Arranjo de tubulações e Desenhos de tubulações)
alívio de pressão em linhas bloqueadas, 138
arranjo dos tubos nos grupos paralelos, 123
considerações básicas, 120
cotas de elevação, 121, 132
curvas em tubos dobrados, 136, 205
de interligação, 128-9
derivações para gases, 137
detalhes de tubulação, 134
direções ortogonais de projeto, 108, 121
disposição de tubulações não-subterrâneas, 120-1
em áreas de processamento, 125
espaçamento entre tubos paralelos, 122
grupos paralelos de mesma elevação, 121
influência da flexibilidade (V. Flexibilidade das tubulações, influência do traçado)
instalação de manômetros e termômetros, 138
ligações aos equipamentos, 130
medidores de vazão, 138
posição das reduções, 136
posição das válvulas, 137
travessia de paredes e de pisos, 139
tubos de pequeno diâmetro, 138
tubos em direções diferentes, 121
tubulações com fluxo por gravidade, 168
tubulações de grande diâmetro, 137
tubulações em áreas de armazenagem, 166
tubulações ligadas a bombas, 162, 163
tubulações ligadas a compressores, 168
tubulações ligadas a reservatórios, 164
tubulações ligadas a turbinas, 168
tubulações subterrâneas, 139
Tratamento térmicos, 212
Tubos (V. também Tubulações)
com costura, 6-7
curvados, 136, 205
de aço-carbono, 9-10
emprego, 9
especificações, 10
fabricados no Brasil, 15
limites de temperatura, 9
de aço (para condução)
comprimentos, 13, 14
dados para encomenda, 15
diâmetros comerciais, 13-4
espessuras, 14-5
extremidades, 14
sistemas de ligação, 36
de aço com revestimentos, 20-1
de aços inoxidáveis, 12-3
de aços-liga, 12
de alumínio e ligas, 16
de barro vidrado, 18
de borrachas, 18
de cimento-amianto, 17
de chumbo, 16-7
de cobre e ligas, 16
de concreto armado, 17-8
de ferro forjado, 15-6
de ferro fundido, 15-6
de materiais plásticos, 18-9
de metais não-ferrosos, 16-7
de níquel e ligas, 17
de plásticos reforçados, 19
de titânio e zircônio, 17
de vidro e cerâmica, 18
definição e importância, 1
materiais de fabricação de, 1-2
não-metálicos, 17-8
nomenclatura americana de, 4
para condução, 13-4
processos de fabricação, 4
sem costura, 5-6
Tubovias, 129
Tubulações (V. também Tubos)
classificação quanto ao emprego, 2
classificação quanto ao fluido conduzido, 3
de distribuição, 2
de grande diâmetro, 137
de pequeno diâmetro, 138, 218
de processo, 125
de utilidades, 2
definição, 1
detalhes de, 134
em áreas de armazenagem de combustíveis, 166-7
em áreas de processo, 125
estruturas de suporte, 160
faixas de passagem, 116
ligações aos equipamentos, 130
suportes, 125-7
fora de áreas de processamento, 128
faixas de passagem, 110
suportes, 129
importância das tubulações, 214-5
para água doce, 94-5
para águas agressivas, 95
para ar comprimido, 98
para baixas temperaturas, 99
para bombas, 162-3
para compressores, 168
para esgotos, 101-2
para gases, 100
para grupos de bombas, 164
para hidrocarbonetos, 97-8
para hidrogênio, 100
para tanques, vasos permutadores etc., 164-5
para temperaturas elevadas, 98-9
para turbinas, 168
para vapor, 95
serviço cíclico, 221-2
serviço de baixa responsabilidade, 57
serviço severo, 57
subterrâneas, 139-40
canaletas, 140
construção, 209
empregos, 139
proteção catódica, 240
proteção externa, 239
traçado, 140
Turbinas
tubulações para turbinas, 168

U

Uniões, 23, 24

V

Válvulas
à prova de fogo, 43, 46-7
angulares, 47
atuadores, 41-2, 51
características gerais das válvulas industriais, 57
casos de emprego, 49
classes de pressão das, 54
classificação, 38
condições de trabalho, 53-4
construção das, 39-41
corpo e castelo das, 39
dados para a encomenda, 59
de aço forjado, 58
de aço fundido, 58
de agulha, 48
de alívio, 50, 138
de bloqueio, 38, 55, 138
de borboleta, 52
de bronze, 58
de comporta, 44
de controle, 51
de diafragma, 52
de esfera, 45
de excesso de fluxo, 38
de fecho rápido, 44
de ferro fundido, 58
de gaveta, 43
de globo, 46
de macho, 45
de passagem plena, 44
de pé, 49
de regulagem, 38, 56
de retenção, 48
de retenção de esfera, 49
de retenção de pistão, 49
de retenção de portinhola, 48
de retenção e fechamento, 50
de segurança, 50, 138
de 3, e de 4 vias, 46
definição e importância, 38
de vedação estanque, 46, 47
em tubulações para bombas, 162
em "Y", 47, 48
extremidades das, 40
linhas de fabricação de, 58
materiais de construção, 53
mecanismo interno e gaxetas, 40
meios de operação das, 41
normas sobre, 59
posição das, 131, 137
redutoras de pressão, 53
seleção de, 54
tipo "wafer", 41
ventosa, 50-1
Vãos entre suportes, 123
para grupos de tubos, 125
Vapor
estações de redução de pressão, 85
purgadores de (V. este título)
recomendações de materiais, 96
separadores de, 88
tubulações para, 95
Vasos
tubulações para vasos, 164
Ventosas, 51
"Vents" (V. Respiros e drenos)

Impressão e acabamento
Cromosete
GRÁFICA E EDITORA LTDA
Rua Uhland, 307 · Vila Ema
Cep: 03283-000 · São Paulo · SP
Tel/Fax: 011 6104-1176

2 3 4 5 6 7 8 9 10